



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105027184 B

(45)授权公告日 2017.04.19

(21)申请号 201380074125.2

(72)发明人 C·W·苏 W·邱 B·甄

(22)申请日 2013.12.30

O·沙皮拉 M·索尔亚克

(65)同一申请的已公布的文献号

(74)专利代理机构 北京坤瑞律师事务所 11494

申请公布号 CN 105027184 A

代理人 谢梦欣

(43)申请公布日 2015.11.04

(51)Int.CI.

(30)优先权数据

G09F 9/00(2006.01)

61/748,228 2013.01.02 US

G02B 27/22(2006.01)

61/748,259 2013.01.02 US

H04N 13/04(2006.01)

61/866,468 2013.08.15 US

14/067,471 2013.10.30 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

(56)对比文件

2015.08.31

CN 101872068 A, 2010.10.27,

(86)PCT国际申请的申请数据

US 2012/0234460 A1, 2012.09.20,

PCT/US2013/078233 2013.12.30

US 5764403 A, 1998.06.09,

(87)PCT国际申请的公布数据

US 2011/0235359 A1, 2011.09.29,

W02014/107425 EN 2014.07.10

US 2008/0043301 A1, 2008.02.21,

审查员 李宁馨

(73)专利权人 麻省理工学院

权利要求书3页 说明书16页 附图15页

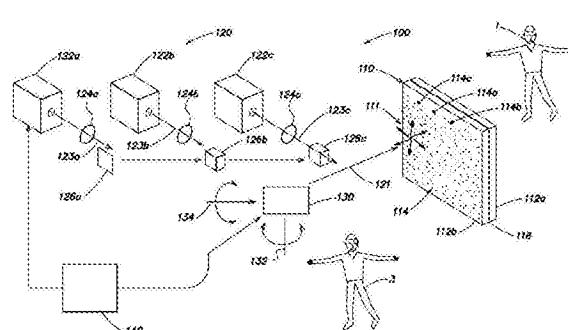
地址 美国马萨诸塞州

(54)发明名称

围上可视、能量高效且透明的。

用于使用散射纳米颗粒的透明显示器的方法和设备

(57)摘要



透明显示器实现了许多有用的应用，包括用于汽车和飞行器的抬头显示器，以及在眼镜和玻璃窗上的显示器。不幸的是，由有机发光二极管制成的透明显示器通常是昂贵的且不透明。抬头显示器经常需要固定光源并具有有限的视角。并且使用频率变换的透明显示器通常是能量低效的。相反，本透明显示器通过从具有窄带散射截面和小吸收截面的共振纳米颗粒散射可见光来操作。更具体地，将图像投影到掺杂有在一个或多个图像波长选择性散射光的纳米颗粒的透明屏幕上在该屏幕上产生观察者可见的图像。因为纳米颗粒仅在特定波长散射光，所以所述屏幕在环境光下几乎透明。示例性透明散射显示器可以是同时简单、便宜、可扩展到大尺寸、在宽角度范

1. 一种透明显示器，其包括：

透明基板；

至少一个光源，其与所述透明基板光学连通以用处于可见光谱中的第一波长的至少一个单色光束照射所述透明基板；以及

至少一个纳米颗粒，其布置在所述透明基板上以散射处于可见光谱的所述至少一个单色光束，并且透射处于可见光谱中的其他波长的环境光。

2. 根据权利要求1所述的透明显示器，其中所述透明基板在约390nm至约760nm的波长具有约90%至约100%的透射率。

3. 根据权利要求1所述的透明显示器，其中所述透明基板包括玻璃、塑料、聚合物和丙烯酸树脂中的至少一个。

4. 根据权利要求1所述的透明显示器，其中所述至少一个光源包括：

第一光源，其发射具有在约390nm和约490nm之间的第一中心波长的第一单色光束；

第二光源，其发射具有在约490nm和约580nm之间的第二中心波长的第二单色光束；以及

第三光源，其发射具有在约580nm和约760nm之间的第三中心波长的第三单色光束。

5. 根据权利要求4所述的透明显示器，其中所述至少一个纳米颗粒具有散射截面，所述散射截面具有峰值，所述峰值具有跨越所述第一中心波长、所述第二中心波长和所述第三中心波长中的至少一个的约1nm到约70nm的半最大值全宽度。

6. 根据权利要求4所述的透明显示器，其中所述至少一个纳米颗粒具有散射截面，所述散射截面具有：

第一峰值，其具有与所述第一中心波长重叠的约1nm至约70nm的第一半最大值全宽度(FWHM)，

第二峰值，其具有与所述第二中心波长重叠的约1nm至约70nm的第二FWHM，以及

第三峰值，其具有与所述第三中心波长重叠的约1nm至约70nm的第三FWHM。

7. 根据权利要求4所述的透明显示器，其中所述至少一个纳米颗粒包括：

具有第一散射截面的第一纳米颗粒，所述第一散射截面具有与所述第一中心波长重叠的第一峰值；

具有第二散射截面的第二纳米颗粒，所述第二散射截面具有与所述第二中心波长重叠的第二峰值；以及

具有第三散射截面的第三纳米颗粒，所述第三散射截面具有与所述第三中心波长重叠的第三峰值。

8. 根据权利要求1所述的透明显示器，其中所述至少一个纳米颗粒包括：

第一纳米颗粒，其包括具有约17.7nm直径的第一二氧化硅球体和沉积在所述第一二氧化硅球体上的具有约10.4nm厚度的第一银层；

第二纳米颗粒，其包括具有约25nm直径的第二二氧化硅球体和沉积在所述第二二氧化硅球体上的具有约6.9nm厚度的第二银层；

第三纳米颗粒，其包括具有约25.1nm直径的银球体。

9. 根据权利要求1所述的透明显示器，其中所述至少一个纳米颗粒在所述至少一个单色光束的波长将入射光的约90%至约100%散射。

10. 根据权利要求1所述的透明显示器，其中所述至少一个纳米颗粒包括以预定图案沉积在所述透明基板上的多个纳米颗粒。

11. 根据权利要求1所述的透明显示器，其还包括：

光束转向元件，其用来引导所述至少一个单色光束至所述透明基板的不同区域，以便照射所述至少一个纳米颗粒中的不同纳米颗粒。

12. 一种操作包括布置在透明基板上的至少一个纳米颗粒的透明显示器的方法，所述方法包括：

用处于可见光谱中的第一波长的至少一个单色光束照射所述至少一个纳米颗粒，以便将所述至少一个单色光束的至少一部分在观察者的方向上散射，所述至少一个纳米颗粒透射处于可见光谱中的其他波长的环境光。

13. 根据权利要求12所述的方法，其中所述至少一个纳米颗粒包括布置在所述透明基板的第一部分上的第一纳米颗粒和布置在所述透明基板的第二部分上的第二纳米颗粒，并且还包括：

生成所述至少一个单色光束；以及

引导所述至少一个单色光束以照射所述第一纳米颗粒；以及

引导所述至少一个单色光束以照射所述第二纳米颗粒。

14. 根据权利要求12所述的方法，其中用所述至少一个单色光束照射所述至少一个纳米颗粒包括：

用具有在约390nm和约490nm之间的第一中心波长的第一单色光束照射所述至少一个纳米颗粒；

用具有在约490nm和约580nm之间的第二中心波长的第二单色光束照射所述至少一个纳米颗粒；以及

用具有在约580nm和约760nm之间的第三中心波长的第三单色光束照射所述至少一个纳米颗粒。

15. 一种制造透明显示器的方法，所述方法包括：

(A) 提供具有散射截面的至少一个纳米颗粒，所述散射截面具有约1nm到约70nm的半最大值全宽度，和约390nm至约760nm的中心波长，其中所述至少一个纳米颗粒配置为散射处于可见光谱中的第一波长的单色光束，并且透射处于可见光谱中的其他波长的环境光；

(B) 提供从约390nm至约760nm具有约90%至约100%的透射率的基板；以及

(C) 在所述基板上沉积所述至少一个纳米颗粒。

16. 根据权利要求15的方法，其中(A)包括选择下列各项中的至少一个：

具有第一散射截面的至少一个第一纳米颗粒，所述第一散射截面具有第一峰值，其特征在于约390nm至约490nm的第一中心波长和约1nm至约70nm的第一半最大值全宽度(FWHM)；

具有第二散射截面的至少一个第二纳米颗粒，所述第二散射截面具有第二峰值，其特征在于约490nm至约580nm的第二中心波长和约1nm至约70nm的第二FWHM；以及

具有第三散射截面的至少一个第三纳米颗粒，所述第三散射截面具有第三峰值，其特征在于约580nm至约760nm的第三中心波长和约1nm至约70nm的第三FWHM。

17. 根据权利要求15所述的方法，其中所述散射截面包括：

第一峰值，其特征在于约390nm至约490nm的第一中心波长和约1nm至约70nm的第一半最大值全宽度；

第二峰值，其特征在于约490nm至约580nm的第二中心波长和约1nm至约70nm的第二半最大值全宽度；以及

第三峰值，其特征在于约580nm至约760nm的第三中心波长和约1nm至约70nm的第三半最大值全宽度。

18. 根据权利要求15所述的方法，其中 (C) 包括：

(i) 将所述至少一个纳米颗粒溶解在液体中以形成纳米颗粒溶液；

(ii) 将所述纳米颗粒溶液涂覆在所述基板的表面上；以及

(iii) 允许所述纳米颗粒溶液在所述基板的所述表面上干燥，以便将所述至少一个纳米颗粒固定到所述基板。

19. 根据权利要求18所述的方法，其中 (ii) 包括下列各项中的至少一个：

将所述纳米颗粒溶液旋涂到所述基板的所述表面上；

将所述纳米颗粒溶液喷涂到所述基板的所述表面上；

将所述纳米颗粒溶液印刷到所述基板的所述表面上；以及

将所述纳米颗粒溶液喷雾到所述基板的所述表面上。

20. 根据权利要求15所述的方法，其中 (C) 包括：

(i) 熔融所述基板以形成液体基板；

(ii) 溶解所述至少一个纳米颗粒至所述液体基板中；以及

(iii) 允许所述液体基板硬化以便将所述至少一个纳米颗粒固定到所述基板或至少部分地固定在所述基板内。

21. 根据权利要求15所述的方法，其中 (C) 包括以预定图案在所述基板上沉积多个纳米颗粒。

用于使用散射纳米颗粒的透明显示器的方法和设备

[0001] 相关申请案的交叉引用

[0002] 本申请根据35U.S.C. §119 (e) 要求于2013年1月2日提交的且标题为“用于使用散射颗粒的透明显示器的方法和设备”的美国申请号61/748,228(代理人案卷号MIT15813P01)的利益,该申请其全文特此以引用的方式并入。

[0003] 本申请还根据35U.S.C. §119 (e) 要求于2013年1月2日提交的且标题为“用于使用上转换颗粒的透明显示器的方法和设备”的美国申请号61/748,259(代理人案卷号MIT16097P01)的利益,该申请其全文特此以引用的方式并入。

[0004] 本申请还根据35U.S.C. §119 (e) 要求于2013年8月15日提交的且标题为“用于使用上转换颗粒的透明显示器的方法和设备”的美国申请号61/866,468(代理人案卷号MIT16097P02)的利益,该申请其全文特此以引用的方式并入。

[0005] 本申请还要求于2013年10月30日提交的美国申请号14/067,471的优先权,并根据35U.S.C. §119 (e) 要求以下申请的利益于2013年1月2日提交的且标题为“用于使用散射颗粒的透明显示器的方法和设备”的美国临时申请号61/748,228(代理人案卷号MIT15813P01);于2013年1月2日提交的且标题为“用于使用上转换颗粒的透明显示器的方法和设备”的美国临时申请号61/748,259(代理人案卷号MIT16097P01);以及于2013年8月15日提交的且标题为“用于使用上转换颗粒的透明显示器的方法和设备”的美国临时申请号61/866,468(代理人案卷号MIT16097P02);这些申请中的每个其全文特此以引用的方式并入。

[0006] 政府支持

[0007] 根据由国家科学基金会授出的批准号DMR0819762与陆军研究办公室授出的合同号W911NF-07-D-0004以及由能源部授出的批准号DE-SC0001299和DE-FG02-09ER46577,以政府支持做出本发明。政府对本发明具有一定的权利。

[0008] 背景

[0009] 透明显示器长期受科学家和工程师欢迎。二维(2D)透明显示器可以创建呈现为漂浮在空气中的图像,与其中图像呈现在可视屏幕上的传统显示器相反。除了创建特殊的视觉印象,此类显示器可以具有广泛的应用。玻璃窗可以转变成家庭影院屏幕。眼镜可以成为小型计算机屏幕。车辆的挡风玻璃可以显示信息,诸如地图,而不阻挡驾驶员的视野。商店的显示窗口不仅可以显示产品还可以显示它们的信息。

[0010] 存在许多透明显示技术,但都没有获得广泛的使用。通过消除背光,液晶显示器(LCD)可以制成透明的,但它们不是非常透明的(通常透射率可以小于15%)。有机发光二极管(OLED)也可制成透明的,但生产仍是昂贵的并且透射率也受到限制(通常小于40%)。OLED显示器可以制成柔性和可折叠的,所以透明柔性显示器也是可行的。电致发光显示器也被制成透明的,但迄今限于单色。近来,荧光膜已与紫外线(UV)灯组合以制造透明的多色显示器;然而,由于荧光颗粒的微小发射截面,因此需要强烈的紫外线光源,诸如超高性能(UHP)灯。

[0011] 概述

[0012] 鉴于前述内容,本文公开的各种发明实施方案大体涉及以潜在的低生产成本实现清晰显示器,并且可以是将透明显示器带入消费者市场中的实现技术。

[0013] 示例性实施方案包括具有透明基板的显示器、布置在所述透明基板上的至少一个纳米颗粒,以及与所述纳米颗粒光学上连通的至少一个光源。用来自光源的单色光束照射纳米颗粒使纳米颗粒在观看者的方向上散射单色光束的至少一部分。

[0014] 其它示例性实施方案包括制造具有散射单色光的一个或多种纳米颗粒的显示器的方法。此类显示器可以通过在基板上沉积至少一个纳米颗粒来构造,该纳米颗粒具有全宽度半最大值为约1nm至约70nm的散射截面和约390nm至约760nm的中心波长,该基板具有约390nm至约760nm的约60%至约100% (例如,65%、70%、75%、80%、85%、90%或95%) 的透射率。

[0015] 应当理解,前述概念和在下面更详细讨论的附加概念的所有组合(只要这些概念不互相矛盾)都被认为是本文中公开的发明主题的一部分。特别地,出现在本公开末尾的要求保护的主题的所有组合被认为是本文中公开的发明主题的一部分。还应当理解,本文中明确采用的也可出现在通过引用并入的任何公开中的术语应被赋予与本文所公开的特定概念最一致的含义。

附图说明

[0016] 本专利或申请文件包含以彩色绘制的至少一个附图。具有(多个)彩图的本专利或专利申请公开的副本将在请求并支付必要的费用时由专利局提供。

[0017] 本领域技术人员将理解,附图主要用于说明的目的,而并非旨在限制本文所描述的发明主题的范围。附图不必按比例绘制;在一些情况下,可以在附图中夸大或放大示出在本文中所公开的发明主题的各个方面以促进理解不同特征。在附图中,类似的参考字符通常指的是类似的功能(例如,功能上相似和/或结构上相似的元件)。

[0018] 图1A是透明散射显示器的示意图。

[0019] 图1B是适用于图1A的透明散射显示器的蓝色散射颗粒的散射截面(实线)和吸收截面(虚线)的曲线图。

[0020] 图1C是图1A所示的透明散射显示器的特写图。

[0021] 图1D示出用于观看三维图像的图1A所示的透明散射显示器的屏幕。

[0022] 图2是具有散射纳米颗粒预定图案的多层透明散射显示器的示意图。

[0023] 图3是表示从适用于制造散射颗粒的各种材料的介电函数导出的波长选择散射性能的曲线图。

[0024] 图4A是强烈散射蓝光并且适用于透明散射显示器的银涂覆二氧化硅纳米颗粒(插图)的散射截面(实线)和吸收截面(虚线)对波长的曲线图。

[0025] 图4B是强烈散射绿光并且适用于透明散射显示器的银涂覆二氧化硅纳米颗粒(插图)的散射截面(实线)和吸收截面(虚线)对波长的曲线图。

[0026] 图4C是强烈散射红光并且适用于透明散射显示器的银涂覆二氧化硅纳米颗粒(插图)的散射截面(实线)和吸收截面(虚线)对波长的曲线图。

[0027] 图5A是强烈散射蓝光并且适用于透明散射显示器的二氧化钛纳米壳(插图)的散射截面(实线)和吸收截面(虚线)对波长的曲线图。

[0028] 图5B是强烈散射绿光并且适用于透明散射显示器的硅纳米壳(插图)的散射截面(实线)和吸收截面(虚线)对波长的曲线图。

[0029] 图6是半径 $r=115\text{nm}$ 的固体硅纳米球的散射截面对波长的曲线图。

[0030] 图7A示出了用于制造透明散射显示器的第一流程。

[0031] 图7B示出了用于制造透明散射显示器的第二流程。

[0032] 图7C示出了用于制造透明散射显示器的第三流程。

[0033] 图8A是浓度为约 $5\mu\text{g}/\text{mL}$ 的PVA中球形银纳米颗粒的溶液的所测量的消光截面(实线)和理论消光截面(虚线)对波长的曲线图。

[0034] 图8B是浓度为约 $10\mu\text{g}/\text{mL}$ 的聚乙烯醇(PVA)中球形银纳米颗粒的溶液的所测量的消光截面(实线)和理论消光截面(虚线)对波长的曲线图。

[0035] 图8C是当用沿对准轴线偏振的光照射时,粘在一起的两个银纳米颗粒(例如,如图9A的插图所示)的理论消光截面对波长的曲线图。

[0036] 图9A是如在透明散射显示器中的PVA膜(插图)中嵌入的直径 $62\text{nm}\pm4\text{nm}$ 的银纳米颗粒的所测量的透射光谱(实线)和所预测的透射光谱(虚线)的曲线图。

[0037] 图9B是图9A的银纳米颗粒的所测量的消光比(实线)、所预测的消光比(虚线),以及来自散射(点划线)和吸收(双点虚线)的所预测贡献的曲线图。

[0038] 图10A是投影到放置在具有麻省理工学院(MIT)标志的三个咖啡杯前面的透明散射显示器的上部之上的MIT标志的彩色照片。

[0039] 图10B是投影到具有MIT标志的三个咖啡杯前面的一片普通玻璃上的MIT标志的彩色照片。

[0040] 图11A是投影到具有黑色背衬的透明散射显示器上的MIT标志的彩色照片。

[0041] 图11B是投影到一片白色玻璃上的MIT标志的彩色照片。

[0042] 详细描述

[0043] 在基于光投影的传统显示系统,例如用于演示并在电影院中使用的投影机中——屏幕是不透明的,以将投射光的散射最大化,使得观众可以在屏幕上看到的图像。在此类情况下,屏幕有效地散射光,但不能是透明的。现有透明2D和3D激光显示技术用屏幕将紫外线(UV)或红外线(IR)光转换为可见光,该屏幕在电磁波谱的可见部分中是透明的,但在电磁波谱的UV或IR区域中不透明。在屏幕上的荧光或非线性材料将UV或IR光转换成显示给观察者的可见光。荧光或非线性转换实现了屏幕透明度,但大部分的荧光和非线性材料并未有效地转变入射光(换句话说,它们遭受低频转变效率)。因此,荧光和非线性显示器通常采用UV/IR光源的高功率光源。

[0044] 然而,如本文所解释,可能创建既在可见光波长基本上透明,且使用可见照明有效显示图像的无源屏幕。这听起来是矛盾的,但可以如下解释。阳光和来自通常的室内/室外照明灯具(例如白炽灯泡、荧光灯等)的光包括宽范围的波长。]然而,在三个或更多个指定的波长——例如红、绿和蓝(RGB)的单色光的混合物——足以产生被人感知的几乎所有颜色。这使得有可能创造屏幕(显示器),它在可见光谱中是透明的,除了在接近指定波长的窄带区域处。

[0045] 示例性透明散射显示器使用纳米颗粒,该纳米颗粒在一个或多个特定可见光波长强烈散射并在所有其他可见光波长透射,以产生大多数人可以容易地感知的彩色图像。例

如,透明散射显示器可在一个或多个预定窄带波长范围散射约30-70% (例如,35%、40%、45%、50%、55%、60%或65%),并且透射那些波长范围外的入射可见光的20%或更多(例如,30%、40%、50%、60%、70%、80%、90%或100%)。所述纳米颗粒可涂覆到或嵌入在透明基板中或夹在一对透明基板之间以形成透明散射屏幕。如果在一个或多个指定波长的纳米颗粒的散射效率足够高,则用来自在指定波长中的一个或多个的激光器、发光二极管或其他光谱相干光源的相对低功率的光束照射所述透明散射屏幕产生在屏幕前面或后面的观察者可见的图像。

[0046] 取决于纳米颗粒的散射波长和所述光源,所述透明散射显示器可以是单色或多色的。例如,如果纳米颗粒仅在处于或接近约450nm的波长处强烈散射,则显示器为蓝色。(用于黑色显示器的吸收纳米颗粒也是可能的。)相似地,具有在多个波长(例如,450nm和650nm)强烈散射的纳米颗粒的透明散射显示器可以用来显示多色图像。并且具有在三个或更多个指定波长(例如,450nm、550nm和650nm)强烈散射的纳米颗粒的透明散射显示器可以用作全彩色显示器。

[0047] 全彩色透明显示器可以基于其中组合适当加权量的红色,绿色和蓝色光产生期望颜色的加色方案。例如,添加红色和蓝色产生品红,添加蓝色和绿色产生青色,以及添加绿色和红色产生黄色。在承载红色、绿色和蓝色散射颗粒(或另一组合适的散射颗粒)的透明屏幕上添加颜色简单地是在屏幕上用具有适当加权强度的红色、绿色和蓝色光束照射单个光斑。如果当光束以比眼的整合时期更快的速率跨屏幕被扫描时调制光束的强度,则光束产生在屏幕上对观察者呈现为全彩色图像的图像。改变强度调制和/或扫描模式产生动画图像。

[0048] 由于纳米颗粒仅在指定波长附近的窄带区域内散射或吸收光,因此如果基板也是相对透明的,则透明散射显示器可在正常光照条件下呈现为透明的。事实上,示例性透明散射显示可以显示出在电磁波谱的可见部分中90%或更高的透明度,同时散射在一个或多个散射波长的入射激光的90%或更多。(更高或更低散射百分比也是可能的,这取决于纳米颗粒的特性。)此类高散射效率使得能够用相对低强度的光束(例如,约1mW或更高的强度)照射屏幕,这转而使得能够在相对低的功耗水平操作显示器的光源。

[0049] 示例性透明散射显示器可用于显示运动图像(例如,视频数据)、静态图像等。它们可以适用于平视显示器;眼镜/眼镜显示器(例如,谷歌眼镜);隐形眼镜显示器;基于护目镜的显示器;大面积显示器;等等。可用的显示器大小取决于基板大小和光源的扫描/照射范围,并且刷新率取决于光源的扫描速率。取决于确切的实施方式,透明散射显示器可用于显示电影、电视节目、视频游戏、计算机显示器、广告牌、室外和室内广告显示器等。

[0050] 透明散射显示器也可用于照明目的。代替用来显示图像,屏幕可以用于产生漫射白光和可能的其它颜色,例如,通过选择散射波长跨越可见光谱的散射颗粒全体。确切的颜色可以根据纳米颗粒的一个或多个散射波长与由所述光源发射的光束的波长和相对强度进行定制。使用透明散射显示器照明提供了伴随大面积照明的潜在性的LED照明的能量效率,例如通过将房屋、办公室和其他建筑中的窗户转变成照明源,替代或补充天花板上的灯泡。这可创造更好地模仿自然阳光的发光。

[0051] 如期望,透明散射显示器可掺杂有或用于承载散射IR或UV光线的颗粒。照射这些IR或UV散射颗粒产生可用适当配置的摄像机检测的IR或UV图像。

[0052] 具有前面或背面光照的透明散射显示器

[0053] 图1A是适于使用来自前面或后面的照明来显示全彩色图像的透明散射显示器100的图示。显示器100包括由透明介质(基板112a和112b)制成的无源屏幕110,该透明介质承载具有低吸收损耗并且仅对在特定可见光波长的光强烈散射的纳米颗粒114。当由宽带环境光源(诸如太阳、白炽灯泡或荧光灯)照射时,该屏幕110是几乎透明的,因为入射光的仅一小部分被吸收或散射。然而,在来自处于指定可见光波长中的一个或多个处的光谱相干光源120的单色照明下,屏幕110将入射光强烈散射到所有方向。因此,可以在一个或多个散射波长有效地投影彩色图像到这个看似透明的屏幕110上。相似于常规的投影屏幕,该屏幕110上的图像通过散射而不是通过镜面反射来呈现,所以视角是相对不受限制的。此外,散射是高效的,因为它不涉及非线性流程,所以光源120可以是低功率源,诸如个人使用的激光投影机。

[0054] 屏幕110由夹在一对基本上透明(例如,90%、95%或99%透明)的基板112a和112b之间的散射纳米颗粒114的层116形成。基板112a和112b可以由任何合适材料形成,包括但不限于玻璃、塑料、丙烯酸树脂和聚合物。基板可以是刚性或柔性的;例如,它们可以与平板玻璃一样刚性,例如在窗口显示器中使用时,或与一片塑料一样柔性,例如在用作柔性显示器时。例如,基板112a和112b可以是塑料薄片,其足够柔性以轧制成具有小于一英寸的半径的圆柱体。相似地,基板可以是厚或薄的,例如,0.1mm、0.25mm、0.5mm、0.75mm、1.0mm、2.5mm或更厚,这取决于应用和纳米颗粒浓度。如期望,基板112a和112b可以被着色、纹理化或以其它方式形成图案以获得特定的效果,诸如不透明或漫透射的区域。

[0055] 夹在基板112a和112b之间的散射纳米颗粒114的层116可以通过涂覆、印刷、喷涂、喷雾或其他方式将纳米溶液沉积到基板112a和112b中的一者或两者上而形成,如下面更详细地描述。在一些情况下,基板112a和112b可被压在一起,以去除气泡并确保纳米颗粒层的厚度和表面是相对均匀的。所述纳米颗粒层116可以与最大纳米颗粒114的直径一样薄;它也可以厚得多,例如最大纳米颗粒的直径的若干倍,这取决于纳米颗粒114是否从聚在一起和纳米颗粒层116是否包括将基板112a和112b分离的基体(例如,聚合物基体)。可替代地或另外地,间隔物(未示出)可以分离基板112a和112b以形成容纳纳米颗粒114的空腔。

[0056] 当沿着显示器的光轴(即,垂直于基板112a和112b表面的轴线)观察时,纳米颗粒层116中的散射纳米颗粒114可以周期性的、非周期性的或随机的方式分布。在一些情况下,纳米颗粒114以约 10^8cm^{-2} 至约 10^{11}cm^{-2} 的面密度均匀地分布(如果随机地)在纳米颗粒层116内(例如, $5\times10^8\text{cm}^{-2}$ 、 10^9cm^{-2} 、 $5\times10^9\text{cm}^{-2}$ 、 10^{10}cm^{-2} 或 $5\times10^{10}\text{cm}^{-2}$)。体密度可为约 10^{10}cm^{-2} 至约 10^{13}cm^{-2} (例如, $5\times10^{10}\text{cm}^{-2}$ 、 10^{11}cm^{-2} 、 $5\times10^{11}\text{cm}^{-2}$ 、 10^{12}cm^{-2} 或 $5\times10^{12}\text{cm}^{-2}$)。其他面密度和体密度也是可能的。在其他情况下,纳米颗粒114可或多或少密集分布在某些领域中,例如以在屏幕110上形成不透明区域或透明区域。

[0057] 给定纳米颗粒的一个或多个截面和浓度,屏幕110的厚度应选择以在所需的波长 λ_0 (对于较高的散射效率,其应该是较高的)和远离共振的消光(对于较高的散射效率,其应该是较低的)将消光平衡,该消光是一个或多个纳米颗粒散射截面、纳米颗粒密度和屏幕厚度的乘积。通常,屏幕110应足够厚,使得在 λ_0 的光的多于一半被散射,但足够薄,使得远离共振的光的多于一半被透射。

[0058] 散射纳米颗粒114可以具有任何合适的形状,包括但不限于球体、椭圆体、扁球体

和扁长球状体。它们可以是由单一材料制成的固体颗粒、空心颗粒或涂有外层的固体颗粒。所述纳米颗粒也可以制作成金属纳米颗粒114，其具有支持形成电流环路的形状。此类纳米颗粒可支持可具有比固体纳米颗粒更窄带宽的磁共振。

[0059] 纳米颗粒114可包括介电材料，介电材料包括氧化硅、硅和二氧化钛；金属，包括银、金和铜等；以及介电材料和金属的组合。其外径范围从约5nm至约250nm（例如，10nm、15nm、20nm、25nm、30nm、35nm、40nm、45nm、50nm、55nm、60nm、65nm、70nm、75nm、80nm、85nm、90nm或95nm、100nm、125nm、150nm、175nm、200nm或225nm）。纳米颗粒的精确大小、形状和组成可以取决于所期望的散射性质。例如，纳米颗粒114可以包括：第一纳米颗粒，其包括具有约17.7nm直径的第一二氧化硅球体和沉积在所述第一二氧化硅球体上的具有约10.4nm厚度的第一银层；第二纳米颗粒，其包括具有约25nm直径的第二二氧化硅球体和沉积在所述第二二氧化硅球体上的具有约6.9nm厚度的第二银层；第三纳米颗粒，其包括具有约25.1nm直径的银球体。

[0060] 如以下更详细解释的，在一个或多个指定的波长，纳米颗粒114根据其组成和大小来散射入射光。如期望，纳米颗粒114可包括不同类型的纳米颗粒，其每个在仅一个窄带区域散射光，该窄带区域中心在一个或多个波长附近——例如，在约460纳米，约530纳米，以及约650纳米。（纳米颗粒114在可见光谱中的其他波长散射和吸收可忽略量的光。）例如，纳米颗粒114可包括红色散射纳米颗粒114a、绿色散射纳米颗粒114b和蓝色散射纳米颗粒114c。这些红色散射纳米颗粒114a、绿色散射纳米颗粒114b和蓝色散射纳米颗粒114c也可以相等比例混合、以基于人眼对不同颜色的灵敏度加权的比例混合，或以任何其他所需比例混合。可替代地或另外地，一些或所有的纳米颗粒114可以被配置来在多个波长散射光（例如，在对应于红色、绿色和蓝色的波长）。散射纳米颗粒114的其它的混合物也是可能的（例如，单色、双色，等等）。

[0061] 图1B是蓝色散射纳米颗粒114b的散射截面（实线）和吸收截面（虚线）对波长的曲线图。该曲线图显示，蓝色散射纳米颗粒114b在约460纳米的波长强烈散射光，而在可见光谱中的任何其它波长不显著散射光。其还显示蓝色散射纳米颗粒114b在可见光谱中几乎不吸收任何光。其结果是，蓝色散射纳米颗粒114b在可见光谱中的每个波长是有效透明的，除了在以约460nm为中心的窄带区域中的那些波长之外。

[0062] 在操作中，光源120在纳米颗粒散射波长中的一个或多个照射纳米颗粒114。根据该实施方式，光源120可以包括一个或多个激光器、发光二极管（LED）或其他光谱相干源，该其他光谱相干源被配置来产生在由纳米颗粒114中的一个或多个散射的波长的光。例如，光源120可以包括在约390nm和约490nm之间（例如，约460nm）的波长发射第一光束123a的第一激光二极管122a、在约490nm和约580nm之间（例如，约530nm）的波长发射第二光束123b的第二激光二极管122b，以及在约580nm和约760nm之间（例如，约650nm）的波长发射第三光束123c的第三激光二极管122c（统称为激光二极管122和单色激光束123）。透镜124a、124b和124c（统称为透镜124）和其它光束成形光学元件，诸如针孔、棱镜和衍射元件校准或松散地聚焦激光束123以防止发散。图1A中示为面镜126a与分色光束组合器126b和126c的光束成形光学元件126组合激光束123以形成多色光束121。另外的光束成形光学元件（未示出）可将多色光束121聚焦到纳米颗粒层114的平面中的光斑。

[0063] 可替代地，光源120可以包括宽带光源（例如，超高性能（UHP）灯或家用投影机）。一

个或多个分色滤光片或带通滤光片选择所需的一个或多个波长。因为宽带光源不是单色的，所以其散射效率不可与激光器或单色光源的散射效率一样高。然而，宽带光源可以在相对低的成本提供比激光二极管更高的功率。

[0064] 为在屏幕110上产生图像，可包括电流计扫描镜或声光偏转器的光束转向元件130引导多色光束121到屏幕上的不同区域。在一些情况下，光束转向元件130可以是集成到光源120中的微机电系统(MEMS)装置(例如，如在MicroVision SHOWW+激光微型投影机中)。例如，光束转向元件130可沿光栅图案(或任何其它合适的扫描图案)扫描多色光束121，而控制器140调制由激光二极管122发射的单色激光束123的强度以在屏幕上产生所需的一个或多个图像。可包括处理器、存储器、通信接口、用户接口以及任何其它适当部件的控制器140可响应于用户输入、来自视频或图像数据源的输入或该两者，控制光束转向元件130和光源120，以在屏幕110上形成特定图像或系列图像。

[0065] 图1C是由多色光束121照射的屏幕110的一部分的特写。多色光束121形成照射若干纳米颗粒114的光斑125，该若干纳米颗粒114包括至少一个红色散射纳米颗粒114a和至少一个蓝色散射纳米颗粒114b。红光123a散射离开红色散射纳米颗粒114a以产生已散射红光111a，并且蓝光123b散射离开蓝色散射纳米颗粒114b以产生已散射蓝光111b。观看屏幕110的观察者1和3可以将已散射红光111a和已散射蓝光111b视为在屏幕110上的紫色光斑。

[0066] 焦斑的大小和纳米颗粒密度一起设定显示器的像素大小或分辨率：只要焦斑大到足以包围至少一个纳米颗粒114，它应产生观察者可见的散射光。然而，不同于传统的显示器，透明散射显示器100的像素大小可以通过简单地增大或减小焦斑的大小例如使用变焦镜头以在工作中调整。此外，为了比用常规像素化显示器可实现的最精细分辨率精细得多的分辨率，焦斑大小可以非常小，例如大约为照射波长。(然而，在一些情况下，如果不同的扫描角度/位置的数目小于显示器面积除以焦斑大小，则光束转向元件的扫描能力可能会限制显示器上的可分辨光斑的数目。)

[0067] 图1D示出了透明屏幕110如何可以用来使用偏振复用实现三维(3D)观看效果。第一偏振光源152a用第一偏振光束153a(例如，如图1D所示的右旋圆偏振光束)将第一偏振图像151a投影到屏幕110上。第二偏振光源152b用第二偏振光束153b(例如，如图1D所示的左旋圆偏振光束)将第二偏振图像151b投影到屏幕110上。观察者5用眼镜160观察叠加图像，该眼镜160用滤光片162a和162b为一只眼睛将右旋圆极化滤光并为另一只眼睛将左旋圆极化滤光。每只眼镜看到不同的图像，所以可以实现3D效果。这对透明屏幕110起作用，因为大部分的散射光来自单次散射事件而不是多次散射，并因此散射光保持入射光的偏振状态。

[0068] 本领域技术人员将容易地理解，显示器100可以使用其它架构而不是图1A中所示的架构。例如，光源120可以包括发射红色、绿色和蓝色光的LED而不是激光二极管。红色、绿色和蓝色光束可独立转向，例如，通过为每个光束使用单独的光束转向元件。显示器也可以使用单个光束转向元件使重复序列中的脉冲单色光束，例如，红色光束121a，然后绿色光束121b，并然后蓝色光束121c转向。光束成形光学元件124和光束组合光学元件126也可以根据所期望的光斑大小(显示分辨率)、工作距离(从光源120到屏幕110的距离)等被选择。

[0069] 多层透明散射显示器

[0070] 图2示出多层透明散射显示器200，其使用选择性散射纳米颗粒214以产生屏幕前后的观察者可见的图像。类似于图1A所示的显示器100，多层透明散射显示器200包括屏幕

210与光源222a和222b(统称为光源222)。然而,在这种情况下,屏幕210包括三个基本上透明的基板:第一基板212a、第二基板212b和第三基板212c(统称为基板212)。这些基板212可以由玻璃、塑料、丙烯酸树脂或任何其它合适的材料制成。它们的厚度和刚性/柔性可以基于应用来选择,如上所述。

[0071] 屏幕210还包括两个纳米颗粒层:第一纳米颗粒层216a和第二纳米颗粒层216b,第一纳米颗粒层216a包括在第一波长(例如,460nm)散射光的纳米颗粒214a,第二纳米颗粒层216b包括在第二波长(例如,650nm)散射光的纳米颗粒214b(统称为纳米颗粒214和纳米颗粒层216)。给定的纳米颗粒层216可以包括多于一种类型的纳米颗粒214(例如,与图1A的显示器100中相同)。如期望,纳米颗粒214可以预定图案沉积或设置在基板216之间。例如,纳米颗粒214可以被设置以形成标志、字母、数字(例如,数字“1”和“2”,如图2所示),或可以通过用在一个或多个散射波长的光照射屏幕210来显示的其他图案。

[0072] 图2还示出了一对光源222a和222b,其被布置用单色光的发散光束221a和221b(统称为发散光束221)照射屏幕210。在该实例中,第一光源222a在由第一纳米颗粒层216a中的纳米颗粒214a散射的波长发射第一发散光束221a,并且第二光源222b在由第二纳米颗粒层216b中的纳米颗粒214b散射的波长发射第二发散光束221b。用发散光束221照射整个屏幕210使得图像以由纳米颗粒形成的图案的形状呈现在屏幕210上。发散光束221可以被接通和断开(调制)以产生按期望呈现为闪烁、移动、改变颜色等的图像。

[0073] 散射纳米颗粒

[0074] 图1A和图2所示的透明散射显示器中的纳米颗粒具有在特定波长急剧地达到峰值并贯穿可见光谱其余部分基本为零的散射截面。它们还具有贯穿可见光谱基本为零的散射截面。与基板贯穿可见光谱的基本上透明组合的选择性散射和低吸收的该组合意味着显示器自身可以是基本上透明的。

[0075] 有若干方法在纳米颗粒中实现波长选择的窄带散射(共振散射),包括在金属涂覆的纳米颗粒中的表面等离子共振、共振特征(例如,空腔)和Fano共振,这些共振是由于在共振和背景散射概率之间的干扰因此表现出不对称剖面的共振。其他颗粒诸如高指数电介质纳米颗粒和其他类型的共振诸如高阶共振也可以表现出合适的波长选择散射。此外,纳米颗粒的大小、形状和组合物可经选择以实现特定的散射波长、带宽和带形。

[0076] 如由本领域技术人员所理解,在当颗粒比入射光的波长小得多(例如,纳米颗粒)时,该颗粒经历在空间中基本上恒定的局部电磁场。其结果是,这种小颗粒的光学响应可从对应的静电问题来确定。这就是所谓的准静态近似(也称为静电近似或偶极近似)。

[0077] 准静态近似可以用来估计在小金属颗粒的局域表面等离子体共振中的散射截面的清晰度。这个推导是通用的,并且应用于任意的颗粒形状,包括但不限于球体、椭圆体、扁球体和扁长球状体。在准静态近似中,对入射光的角度和偏振被平均的散射截面 σ_{sca} 可写为:

$$[0078] \langle \sigma_{sca} \rangle = \frac{k^4}{18\pi} \sum_{j=1,2,3} |\alpha_j(\varepsilon)|^2, \quad (1)$$

[0079] 其中尖括号表示对角度和偏振的平均, $k = 2\pi / \lambda$ 是在周围介质中的波数(它们的介电常数 ε_m 是纯实型的且是正的),并且 α_1 、 α_2 和 α_3 是在三个正交方向上的颗粒的静态极化。颗粒可以是均匀的材料(例如,固态球体)或多种材料的复合物(例如,核-壳结构)。

[0080] 实现波长选择性散射的一种方法是在金属纳米颗粒中使用局域表面等离子体共振。不受限于任何特定的理论,本领域技术人员应该理解金属纳米颗粒可支持表面等离子体,因为其介电函数将在一些波长范围内具有负的实部。特别地,金属纳米颗粒支持大约在波长 λ_0 发生的局域表面等离子体共振,对于此

$$[0081] \frac{1}{\alpha_j(\operatorname{Re}(\varepsilon(\lambda_0)))} = 0 \quad (2)$$

[0082] (对于球体,该条件可以简化为 $\operatorname{Re}(\varepsilon(\lambda_0)) = -2\varepsilon_m$ 。) 接近共振,静态极化 α_j 提供主要贡献给平均散射截面,所以在上共振(在 λ_0)和偏共振(在 $\lambda_0 + \Delta\lambda$,对于所关注的小 $\Delta\lambda$)之间的比率大约是

$$[0083] \frac{\langle \sigma_{sca}(\lambda_0) \rangle}{\langle \sigma_{sca}(\lambda_0 + \Delta\lambda) \rangle} \approx \left| \frac{\alpha_j(\varepsilon(\lambda_0))}{\alpha_j(\varepsilon(\lambda_0 + \Delta\lambda))} \right|^2 \quad (3)$$

[0084] 通过将极化写为有理函数,并将电容率实部和虚部的变化取为 $\Delta\lambda$ 从而相对小于它们的正谐振值,可以简化该表达式。球体、涂覆球体、椭圆体和涂覆椭圆体的极化的解析表达式在C.F.Bohren和D.R.Huffman,通过小颗粒吸收和散射光(Wiley,1998年,纽约),其全文以引用的方式并入本文。所有这些解析表达式可以采取有理函数的形式。对于更加任意的几何形状,极化经常可以局域地近似为接近共振的有理函数。

[0085] 应用这些简化至方程(3)得到小颗粒(例如,直径<<波长)的在上共振(在 λ_0 的比值)散射截面和偏共振(在 $\lambda_0 + \Delta\lambda$,对于所关注的小 $\Delta\lambda$)之间的比率的表达式,该小颗粒由介电函数 ε 表征:

$$[0086] \frac{\sigma_{sca}(\lambda_0)}{\sigma_{sca}(\lambda_0 + \Delta\lambda)} \approx 1 + \left| \frac{\operatorname{Re}[\varepsilon(\lambda_0 + \Delta\lambda) - \varepsilon(\lambda_0)]}{\operatorname{Im}[\varepsilon(\lambda_0)]} \right|^2 \quad (4)$$

[0087] 引起方程(4)的推导适用于任意的颗粒形状,并且仅假定颗粒比波长 λ_0 小得多而且 $\Delta\lambda$ 足够小,使得电容率没有太大变化。方程(4)适用于局域表面等离子体共振,但不一定适用于其他类型的共振。

[0088] 对于强波长选择性散射,上共振散射截面 $\sigma_{sca}(\lambda_0)$ 应该比偏共振散射截面 $\sigma_{sca}(\lambda_0 + \Delta\lambda)$ 大得多,由方程(4)给出的比率应(远)大于1。为实现大比率(例如,远大于1),方程(4)表明该纳米颗粒材料应当由介电函数表征,该介电函数在共振波长 λ_0 附近具有小虚分量 $\operatorname{Im}(\varepsilon)$ 以及快速变化的实分量 $\operatorname{Re}(\varepsilon)$ 。其介电函数在特定工作波长附近具有小虚分量和快速变化的实分量的材料包括具有可忽略损耗的Drude金属。

[0089] 图3是对于不同的金属,关于波长的介电函数的导数的实部对介电函数虚部的比的平方的曲线图, $\eta = |\operatorname{Re}(d\varepsilon/d\lambda)/\operatorname{im}(\varepsilon)|^2$ 。换句话说, η 提供散射纳米颗粒中材料的性能的估计,其中较高的数值表示较高的散射和/或较低的吸收。图3示出了现实金属趋向于有损和在可见光谱中显著偏离Drude模型。在大部分可见光谱内,银在普通金属中具有 $\eta = |\operatorname{Re}(d\varepsilon/d\lambda)/\operatorname{im}(\varepsilon)|^2$ 的最高值,并因此适合用于散射纳米颗粒。适合制造散射纳米颗粒的其它材料包括但不限于金和铜。

[0090] 如上所述,适合用于透明散射显示器的纳米颗粒应跨可见光谱具有均匀的低吸收截面 σ_{abs} ,以及在共振波长 λ_0 的高散射截面 σ_{sca} ,在可见光谱中的别处具有低散射截面 σ_{sca} 。

这些参数可以被用来定义下面的品质因数(FOM)：

$$[0091] \quad FOM = \frac{\sigma_{sca}(\lambda_0)}{2\overline{\sigma}_{sca} + \max\{\sigma_{abs}\}}, \quad (5)$$

[0092] 其中上划线和符号 $\max\{\dots\}$ 分别表示在可见光谱(390nm至750nm)中的平均值和最大值。FOM被定义为比率,而不是按照颗粒的散射和吸收截面的绝对值定义,因为屏幕的总散射和吸收可以通过拾取屏幕上的纳米颗粒的合适的面密度来设置。数值2是根据经验确定的权重,其提供在最优化锐利散射和低吸收之间的良好平衡。(其他根据经验确定的权重(例如,在1.5-2.5的范围内的数值)也可以起作用。)并且使用最大吸收截面给出了无色透明屏幕的平坦吸收光谱的FOM,而不是有色透明屏幕的达到峰值的吸收截面的FOM。如期望,FOM可以调整以包括在散射和吸收截面上的波长相关的权重从而考虑人眼的光谱灵敏度。

[0093] 长的曲线图,该球形纳米颗粒如期望,在方程(5)中定义的FOM可用于为给定的散射波长、散射截面和吸收截面确定纳米颗粒的大小和组成。更具体地,可通过将散射和吸收截面的米氏理论计算与非线性最优化引擎组合来数字地设计纳米颗粒,该非线性最优化引擎使用适当的品质因数,诸如在方程(5)中给出的FOM。其它合适的品质因数可以被定义为在特定的窄带区域上的平均散射截面除以跨整个可见光谱的平均消光截面,或通过将散射截面的半最大值全宽度(FWHM)乘以整个可见光谱的平均消光截面的乘积最小化来定义。基于品质因数的非线性最优化可以应用于任何材料、任何几何形状和其他类型的共振。此基于FOM的最优化也可用于设计在可见光谱中具有多个散射截面的纳米颗粒,和/或具有不同谱宽的散射截面的纳米颗粒。

[0094] 图4A-图4C是球形纳米颗粒的散射截面(实线)和吸收截面(虚线)对波具有由银制成的壳体和由使用上述非线性最优化流程生成的二氧化硅制成的核心。在图4A-图4C的插图中所示的可以例如使用Stöber工艺合成的颗粒被假设嵌入在折射率n=1.44的透明介质中,该透明介质通常是聚合物基质。以转移矩阵法使用二氧化硅的n=1.45和银的波长相关的复电容率的实验值,计算图4A-图4C所示的散射和吸收截面。粒度分布被假设为遵循高斯分布,其中标准差等于平均值的约10%。通过经由例如在非线性最优化软件包NLOpt(可得自<http://ab-initio.mit.edu/wiki/index.php/NLOpt>)内实施的多级单连算法执行全局最优化,使用来自方程(5)的FOM给出核心半径和壳厚度。

[0095] 图4A示出具有约1.3nm半径的二氧化硅纳米球,其涂覆有30.8nm厚的银壳并且散射蓝色激光($\lambda_0=458\text{nm}$)。图4B示出具有约22.2nm半径的二氧化硅纳米球,其涂覆有15.8nm厚的银壳并且散射绿色激光($\lambda_0=532\text{nm}$)。而图4C示出具有约34.3nm半径的二氧化硅纳米球,其涂覆有11.0nm厚的银壳并且散射红色激光($\lambda_0=640\text{nm}$)。图4A、图4B和图4C中峰值的FWHM分别是约66nm、约62nm和约69nm,并且FOM分别是1.01、0.91和0.81。即使在这些FWHM,承载图4A-图4C所示的任何纳米颗粒的透明基板是基本上透明的,除了在一个或多个共振波长之外。

[0096] 图5A和图5B分别是二氧化钛纳米壳和硅纳米壳的计算的散射和吸收截面,该二氧化钛纳米壳散射在 $\lambda_0=458\text{nm}$ 的蓝色激光,该硅纳米壳散射在 $\lambda_0=532\text{nm}$ 的绿色激光。该计算考虑到在壳厚度上的±10%的随机分布。(不受限于任何特定理论,准静态近似不可准确描

述这些纳米壳共振,因为纳米壳是相对大的。)

[0097] 图5A中的二氧化钛纳米壳具有25.5nm的内径、70.1nm的外径以及FOM=1.76。图5B中的硅纳米壳具有43.8nm的内径、68.2nm的外径以及FOM=1.14。纳米壳的共振表现出相对低的吸收损失,但折射率对比度应足够高到为共振提供足够的限制。在图5A和图5B中,例如,纳米壳的核心和周围介质被假设为具有折射率n=1。在实践中,核心和周围介质可以包括低折射率材料,诸如具有高达60mm的透射长度的透明气凝胶。

[0098] 图6是半径约115nm的硅纳米颗粒的散射截面的曲线图。散射截面在大致对应于蓝、绿和红色的波长具有峰值。峰值包括:第一峰值,其具有与所述第一中心波长重叠的约1nm至约70nm的第一半最大值全宽度(FWHM) (蓝);第二峰值,其具有与所述第二中心波长重叠的约1nm至约70nm的第二FWHM(绿);以及第三峰值,其具有与所述第三中心波长重叠的约1nm至约70nm的第三FWHM(红)。硅纳米颗粒也散射在电磁波谱的近红外部分中的光,但由于人不能看到红外光,因此红外散射不可能影响显示器的性能。

[0099] 制造透明散射显示器

[0100] 图7A-图7C示出了用于制造具有散射纳米颗粒的屏幕以便用于透明散射显示器,例如图1A和图2所示的透明散射显示器的不同工艺。纳米颗粒714可具有被选择以提供在特定波长(例如,对应于红色,蓝色和绿色的波长)的散射的形状、大小和/或组成。纳米颗粒714也可以用现有技术合成,包括但不限于湿化学气相沉积、物理气相沉积,离子注入和纤维拉丝。如期望,纳米颗粒的外表面可以被处理(例如,用聚乙烯吡咯烷酮(PVP)),以防止不希望的聚集(聚类,如下所述)、与基质(基板)材料的反应,或两者兼而有之。纳米颗粒溶液可稀释以减小纳米颗粒浓度、改善涂层的沉积特性,或两者兼而有之。

[0101] 图7A所示的流程700涉及在溶解于水中的合适溶剂715诸如聚乙烯醇(PVA)中溶解纳米颗粒714以形成纳米颗粒溶液(步骤702)。如期望,所述纳米颗粒溶液可与聚合物粉末进行混合以形成聚合物/纳米颗粒溶液。可替代地,所述纳米颗粒也可以被溶解到液体聚合物基质中,以形成沉积到透明基板712的一个表面上并被允许缓慢干燥的聚合物/纳米颗粒溶液。

[0102] 通过将纳米颗粒溶液沉积到基板的表面上,所述纳米颗粒可涂覆到透明基板712上,该透明基板712可以由玻璃、塑料、丙烯酸树脂或任何其它合适的透明材料制成(步骤704)。在厚度和表面外观上使涂层均匀可以减少或消除不希望的散射。为实现均匀的厚度,所述纳米颗粒溶液可旋涂、喷涂或以其它方式沉积到基板的表面上以形成涂层。例如,所述纳米颗粒溶液可以液体、泡沫、或喷雾的形式喷涂到基板上。此类喷涂可以喷雾到透明表面上而不需要任何特殊的设施,并因此可以容易地在几乎任何场合进行。如期望,另一个透明基板(未示出)可以被放置或压到第一基板712的涂覆表面上,以去除涂层中的气泡、降低涂层的表面粗糙度,或两者兼而有之。该涂层被允许通过温和的蒸发(例如,经由在真空室中干燥)来干燥(步骤706),以形成均匀的表面。如期望,附加的涂层(例如,含有不同类型的纳米颗粒)可以被沉积到干燥的涂层上或其它基板表面上。

[0103] 在一些情况下,所述纳米颗粒溶液被印刷到所述基板表面上以产生一层均匀纳米颗粒。合适的印刷技术包括但不限于丝网印刷、喷墨印刷、凹版印刷和柔版印刷。印刷对将纳米颗粒沉积到在柔性基板上特别有用。

[0104] 如期望,该纳米颗粒溶液可以印刷或以其他方式沉积到基板表面的预定部分上,

例如,以使用掩模或其它适当的技术形成类似于图2所示的图案。例如,如果纳米颗粒溶液是水溶液,则基板表面可以选择性地涂覆有亲水性和/或疏水性涂层,以分别地吸引和排斥所述纳米颗粒溶液。

[0105] 图7B示出了用于制造适用于透明显示器的屏幕的另一流程730。在该流程730中,基板被软化以形成软化的基板,或熔融以形成液体基板(步骤732)。纳米颗粒被压入软化的基板或溶解于液体基板中(步骤734),然后使之硬化成包括嵌入在基板内的纳米颗粒的屏幕(步骤736)。例如,纳米颗粒可以直接溶解到熔融玻璃、熔融/液体塑料,或熔融/液体丙烯酸树脂中以形成掺杂的基板材料。掺杂的基板材料然后可以使用标准玻璃(或塑料)制造技术挤出、模制或以其它方式形成为掺杂有纳米颗粒的透明板。

[0106] 图7C示出了用于制造适用于透明显示器的屏幕的另一流程760。在该流程760中,一个或多个纳米颗粒悬浮在液体聚合物基质中,或与干燥聚合物和溶剂混合以形成纳米颗粒悬浮液(步骤762)。在步骤764中,所述纳米颗粒悬浮液被注入或通过毛细作用引入到在一对基板之间形成的空腔内或单个基板内,例如,使用毛细管作用。在步骤766中空腔被密封,以防止悬浮液逸出,并且所述纳米颗粒悬浮液在步骤768中例如使用紫外光被固化以防止纳米颗粒沉淀。

[0107] 纳米颗粒聚类

[0108] 在一些情况下,在溶液中的纳米颗粒可聚类在一起以在散射波长中产生不期望的位移。不受限于任何特定的理论,似乎渗透压、毛细力和范德华力可各自在纳米颗粒聚类中发挥作用。渗透压产生短程(粘着)的吸引力,但不可施加于具有相对低的纳米颗粒浓度(例如,约 2×10^{-5} 或更小的体积分数)的溶液中。通过在纳米颗粒表面与溶剂(例如,PVA)之间减小界面能量,例如,通过用类PVP的极性涂层涂覆颗粒,可以减小或消除毛细管力。

[0109] 范德华力可以比渗透压或毛细管力更容易造成聚类。对于半径为R并且隔开距离D的一对球体,与范德华力相关联的势能是

$$W(D) = -AR/(12D)$$

[0110] 其中A是常数。对于在水中的银纳米球, $A=4 \times 10^{-19}$,其在分开的距离 $D=200\text{nm}$ 处对应于约等于 kT (玻尔兹曼常数乘以温度,或热激发能)的吸引能。减小纳米球密度降低一对给定纳米球将隔开200纳米或更小的概率,这转而降低范德华引力将导致聚类的概率:

纳米球密度	<200 nm 最近邻的概率
2.0 $\mu\text{g/L}$	1.7%
1.0 $\mu\text{g/L}$	0.8%
0.5 $\mu\text{g/L}$	0.4%

[0111] 图8A-图8C示出了纳米颗粒聚类的效果。图8A和图8B示出了PVA中球形银纳米颗粒的实验的消光截面($\sigma_{\text{ext}} = \sigma_{\text{sca}} + \sigma_{\text{abs}}$; 实线)和理论消光截面(虚线)对波长。实验曲线的宽度表示正/负一个标准偏差。所述纳米颗粒浓度在图8A中为 $5\mu\text{g/mL}$ 并且在图8B中为 $10\mu\text{g/mL}$,这示出了接近 620nm 的较大消光截面(由箭头表示)。图8C是为沿着对准轴线的偏振计算的粘在一起的两个银纳米颗粒(例如,如图9A的插图中的TEM图像所示)的理论消光截面谱的曲线图。其示出聚类的纳米颗粒在 620nm 强烈散射光,这表明由在较高纳米颗粒浓度的纳米颗粒聚类引起的图8B中的极高峰。

[0114] 实例

[0115] 下面的实例旨在说明本技术的各方面,没有权利要求的限制。

[0116] 在一个实例中,能够显示蓝色图像的透明显示器如下被制造和测试。图4A示出了散射蓝色激光的纳米颗粒具有可忽略的二氧化硅核,因此为简单起见使用固体球形的银纳米颗粒制成透明显示器(例如,从nanoComposix制成)。通过将PVA(例如,来自Sigma-Aldrich)添加到银纳米颗粒的水溶液(纳米颗粒密度0.01mg/mL)中,纳米颗粒容纳在透明聚合物基质中。液体彻底混合,倾倒至测量为25cm乘25cm的一块玻璃的一个表面上,在真空室中脱水,并使其在室温下干燥40小时。这在透明基板上产生了具有0.46mm厚的掺杂纳米颗粒的PVA膜的透明屏幕,其中几乎没有气泡。

[0117] 图9A和图9B分别是掺杂纳米颗粒的PVA的膜的透射率和消光对波长的曲线图。(图9A的插图示出了直径为 $62\text{nm} \pm 4\text{nm}$ 的测得的纳米颗粒的透射型电子显微镜(TEM)图像。)实线表示测量值,并且虚线表示计算值。实线的宽度表示正/负一个标准偏差。图9B还示出由散射(点划线)和吸收(双点划线)引起的消光的理论值。透射率在共振波长下降至约20%,并且在可见光谱中别处接近100%。两个曲线图表明实验和理论之间非常良好的一致性,其中有接近620nm的微小差异,其可以通过纳米颗粒的偶然聚类进行解释(参见图8B和图8C)。图9B还示出了在共振波长的大部分消光来自散射而不是来自吸收的理论预测。

[0118] 图10A示出用作透明散射显示器的坐落在三个彩色咖啡杯前面的所述透明屏幕的彩色照片。该照片示出了使用低功率的激光投影仪(例如,MicroVision SHOWWX+,最大输出功率为1mW)以在 $458\text{nm} \pm 2\text{nm}$ 的波长发射光的GaN激光二极管投射到该屏幕上的蓝色MIT标志。投影的标志是从所有方向可见的,因为它是由于光散射形成的。作为比较,图10B是彩色照片,其示出了投影到图10A所示的相同咖啡杯前面的一片普通玻璃上的相同标志。没有图像呈现在图10B中,因为玻璃在所投影的蓝色激光的458nm波长是透明的。图10A和图10B也示出几乎与玻璃一样透明的屏幕:彩色咖啡杯适当地呈现在屏幕和玻璃两者后面。

[0119] 图11A和图11B分别是投影到透明屏幕和一片白色玻璃上的MIT标志的彩色照片。两个照片均用相同的照明条件和曝光来拍摄,并从原始图像文件无任何编辑直接转换成JPEG文件。图11A和图11B示出投影到屏幕上的图像比在纸张上的图像稍暗,但屏幕实现比纸更好的图像对比度,因为它比纸散射较少的环境光。(不同于纸,屏幕产生任何漫散射)。图11A中透明屏幕后的黑色背衬也改善对比度。

[0120] 结论

[0121] 虽然各种发明实施方案已经在本文中描述和示出,但是本领域的技术人员将容易想到各种其他手段和/或结构用于执行功能和/或获得本文所述的结果和/或一个或多个优点,并且此类变化和/或修改中的每个被认为是在本文中描述的本发明实施方案的范围之内。更一般地,本领域的技术人员将容易理解,本文所述的所有参数、尺寸、材料和配置意在是示例性的,并且实际的参数、尺寸、材料和/或配置将取决于本发明的教导被用于的具体应用或多个应用。本领域技术人员将仅使用常规实验认识到或能够确定本文所述的特定发明实施方案的许多等同形式。因此,应理解前述实施方案仅作为实例提出,并且在附随权利要求及其等同形式的范围内,发明实施方案可以所具体描述和要求的方式之外的其他方式实践。本公开的发明实施方案针对本文中所描述的每个单独的特征、系统、制品、材料、套件和/或方法。此外,如果两个或更多个此类特征、系统、制品、材料、套件和/或方法不相互矛

盾，则此类特征、系统、制品、材料、套件和/或方法的任何组合均包括在本公开的发明范围内。

[0122] 上述实施方案可以各种方式中的任何方式实施。例如，实施方案（例如，设计和/或操作透明显示器的实施方案）可使用硬件、软件或它们的组合来实施。当以软件实施时，软件代码可以在任何合适的处理器或处理器的集合上执行，无论是设置在单个计算机中或在多个计算机之间分布。

[0123] 进一步地，应理解，本显示器与制造和操作显示器的方法可以结合计算机使用，该计算机可以多种形式中的任何形式实施，诸如机架式计算机、台式计算机、膝上计算机或平板计算机。例如，图1A所示的控制器140可以被实施为计算机、智能电话或其他基于处理器的设备。另外，计算机可被嵌入在一般不被认为是计算机但具有合适的处理能力的设备中，包括个人数字助理（PDA）、智能电话或任何其他合适的便携式或固定电子设备。

[0124] 同样，计算机可以具有一个或多个输入和输出设备，包括如本文所公开的一个或多个显示器。这些设备尤其可用来呈现用户界面。可被用来提供用户界面的输出设备的实例包括用于视觉呈现输出的打印机或显示屏，以及用于听觉呈现输出的扬声器或其他发声设备。可用于用户界面的输入设备的实例包括键盘和定点设备，诸如鼠标、触摸板和数字化平板。作为另一实例，计算机可以通过语音识别或以其他可听格式来接收输入信息。

[0125] 此类计算机可以由一个或多个网络以任何合适的形式互连，该网络包括局域网或广域网，诸如企业网络，以及智能网（IN）或互联网。此类网络可以基于任何合适的技术并可以根据任何合适的协议来操作，并且可以包括无线网络、有线网络或光纤网络。

[0126] 本文概述的各种方法或流程可被编码为可在采用各种操作系统或平台中任一种的一个或多个处理器上执行的软件。此外，此类软件可使用多种适当的编程语言和/或程序设计或脚本工具中的任何来编写，并且也可以被编译为在框架或虚拟机上执行的可执行机器语言代码或中间代码。

[0127] 在这方面，各种发明概念可以被实施为用一个或多个程序编码的计算机可读存储介质（或多个计算机可读存储介质）（例如，计算机存储器、一个或多个软盘、紧凑光盘、光盘、磁带、闪存存储器、现场可编程门阵列或其他半导体器件中的电路配置，或其他非暂时性介质或有形计算机存储介质），当在一个或多个计算机或其他处理器上执行时，该程序执行实施上面讨论的本发明的各种实施方案的方法。一个或多个计算机可读介质可以是可传送的，使得其上存储的一个或多个程序可以被加载到一个或多个不同的计算机或其他处理器上以实施如上讨论的本发明的各方面。

[0128] 术语“程序”或“软件”在本文中一般意义上用于指代任何类型的计算机代码或一组计算机可执行指令，其可被用来对计算机或其他处理器编程以实施如上讨论的实施方案的各方面。此外，应当理解，根据一个方面，一个或多个当被执行时执行本发明的方法的计算机程序不需要驻留在单个计算机或处理器上，但可以模块化形式分布在多个不同的计算机或处理器之间以实施本发明的各方面。

[0129] 计算机可执行指令可以是由一个或多个计算机或其他设备执行的许多形式，诸如程序模块。通常，程序模块包括执行特定任务或实施特定抽象数据类型的例程、程序、对象、部件、数据结构等。通常，程序模块的功能可以被在各种实施方案中按期望被组合或分布。

[0130] 同样，数据结构可以任何合适的形式存储在计算机可读介质中。为简化说明，数据

结构可被示为具有通过在该数据结构中的位置被相关的字段。此类关系可以同样通过在字段之间传递关系的计算机可读介质中向用于字段的存储空间分配位置来实现。然而，任何合适的机制可用于在数据结构的字段中的信息之间建立关系，包括通过使用指针、标签或在数据元素之间建立关系的其他机制。

[0131] 同样，各种发明概念可以被实施为一个或多个方法，这些方法的实例已提供。作为该方法的一部分执行的动作可以任何合适的方式排序。因此，实施方案可以被构造，其中动作是以不同于说明的顺序执行，这可包括同时执行一些动作，即使在说明性实施方案中示为循序动作。

[0132] 如本文中定义和使用的所有的定义应当理解成以支配字典定义、通过引用并入文件中的定义，和/或所定义术语的普通含义。

[0133] 流程图在本文中使用。使用流程图不意味着限制所执行操作的顺序。本文所述的主题有时说明包含在不同的其他部件内或与不同的其它部件连接的不同部件。应当理解，此类所描绘架构仅是示例性的，并且事实上可以实施许多实现相同功能的其他架构。在概念意义上，实现相同功能的部件的任何设置被有效地“关联”，使得实现期望的功能。因此，本文中组合以实现特定功能的任何两个部件可以被看作彼此“相关联”，使得无关于架构或中间部件实现期望的功能。同样地，被如此相关联的任何两个部件也可被视为彼此“可操作地连接”或“可操作地耦接”，以实现期望的功能，并且能够如此相关联的任何两个部件也可视为彼此“可操作地可耦接”以实现期望的功能。可操作地可耦接的具体实例包括但不限于物理上可配对的和/或物理上交互的部件，和/或无线地可交互的和/或无线交互的部件，和/或逻辑上交互的和/或逻辑上可交互的部件。

[0134] 如在本文中在说明书和权利要求所使用的不定冠词“一个”和“一件”除非明确指出相反，否则应被理解为是指“至少一个”。

[0135] 如在本文中在说明书和权利要求中所使用的短语“和/或”应被理解为是指如此结合的要素中的“任一个或两者”，即，在一些情况下结合地存在并且在其他情况下分离地存在的要素。与“和/或”一起列出的多个要素应以相同的形式解释，即，如此结合的要素中的“一个或多个”。除由“和/或”分句具体鉴别的要素之外的其它要素也可任选地存在，无论是否与具体地鉴别的那些要素相关。因此，作为非限制性实例，提及“A和/或B”在与开放式语言诸如“包括”结合使用时，可以在一个实施方案中仅指A(任选地包括除B之外的要素)；在另一个实施方案中，仅指B(任选地包括除A之外的要素)；在另一个实施方案中可以指A和B两者(任选地包括其它要素)；等等。

[0136] 如在本文中在说明书和权利要求中，“或”应被理解为具有与如上定义的“和/或”相同的含义。例如，当在列表中分隔项目时，“或”或“和/或”应被解释为包括性的，即包括多个要素或要素列表中的至少一个要素，但也包括多于一个要素，并且任选地包括额外的未列出的项目。仅明确指出相反的术语，诸如“仅一个”或“刚好一个”，或在权利要求中使用时的“由……组成”将指代包括多个要素或要素列表中的刚好一个要素。通常，术语“或”如本文所用，在前面是排他性的术语诸如“任一”、“……中的一个”、“……中的仅一个”或“……中的刚好一个”时，应仅被解释为表示排他性的替代(即“一个或另一个但不是两者”)。“基本上由……组成”在权利要求中使用时将具有与其在专利法领域中所使用的普遍含义相同的含义。

[0137] 如本文中在说明书和权利要求中使用,关于一个或多个要素的列表,短语“至少一个”应当被理解为是指从要素列表中任一个或多个要素中选择的至少一个要素,但不一定包括在要素列表内具体列出的每个和每一个要素中的至少一个,并且不排除要素列表中要素的任何组合。此定义还允许任选地存在除短语“至少一个”指代的要素列表内具体鉴别的要素之外的要素,无论是否关于具体鉴别的那些要素。因此,作为非限制性的实例,“A和B中的至少一个”(或等效地,“A或B中的至少一个”,或等效地“A和/或B中的至少一个”)可以在一个实施方案中指代至少一个、任选包括多于一个A,没有B存在(并任选包括除B之外的要素);在另一个实施方案中,指代至少一个、任选地包括多于一个B,没有A存在(并任选地包括除A之外的要素);在另一个实施方案中,指代至少一个、任选地包括多于一个A,和至少一个、任选地包括多于一个B(并任选地包括其它要素);等等。

[0138] 在权利要求中,以及在上文的说明书中,所有过渡短语如“包含”、“包括”、“携带”、“具有”、“含有”、“涉及”、“持有”、“由……构成”等被应理解为是开放式的,即意指包括但不限于。仅过渡短语“由……组成”和“基本上由…组成”应分别是封闭或半封闭的过渡短语,如在美国专利局专利审查程序手册第2111.03节中所阐述。

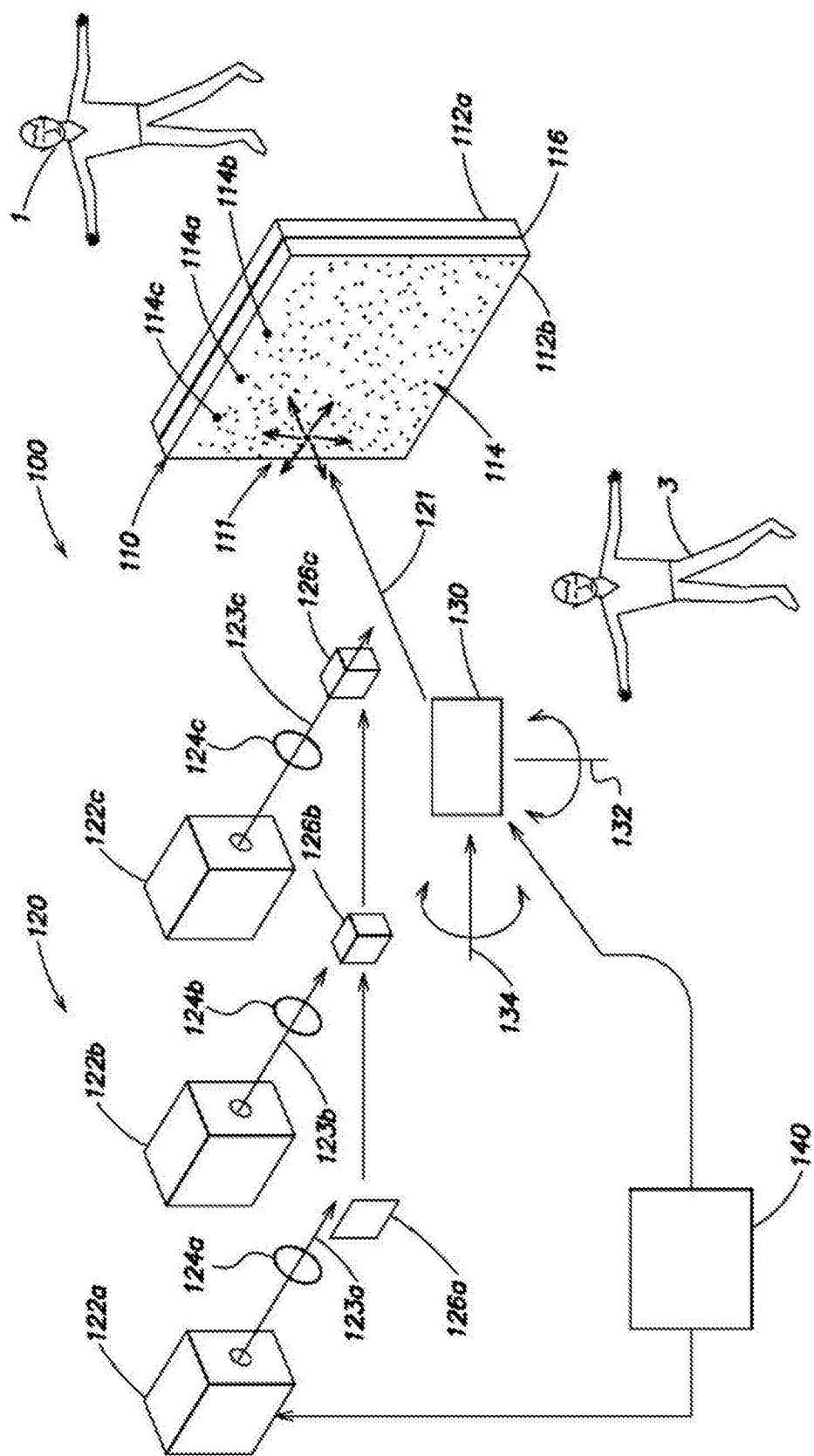


图1A

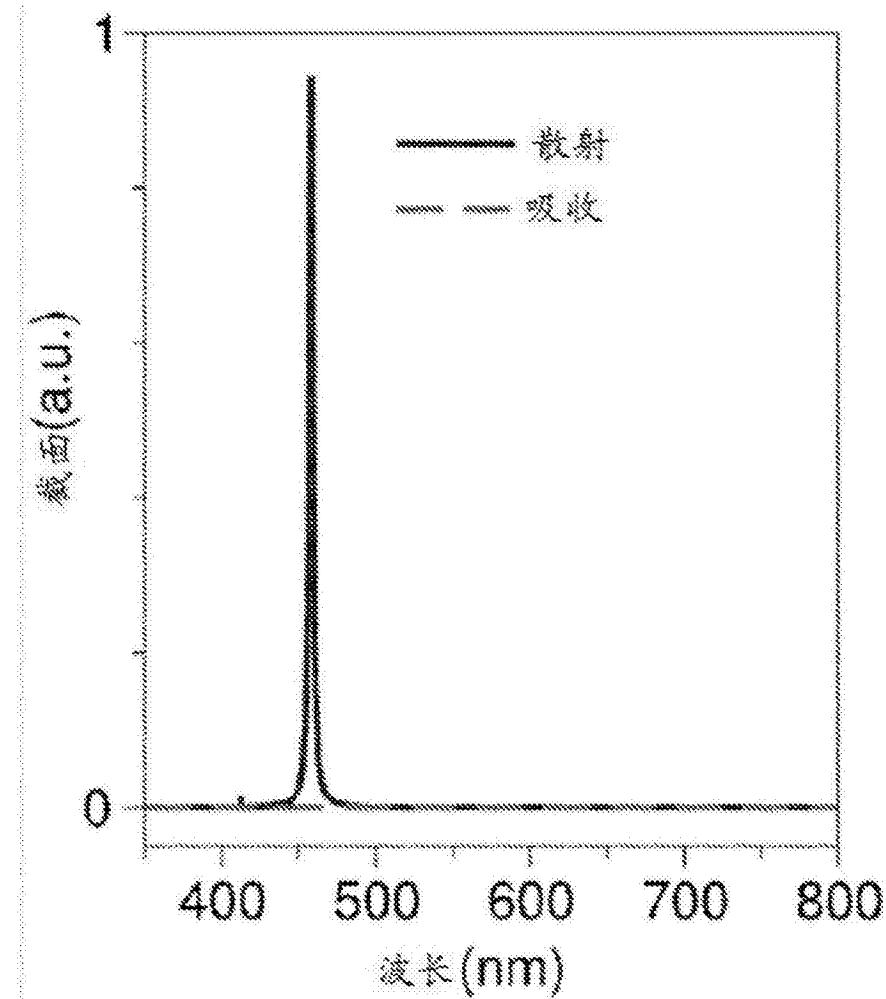


图1B

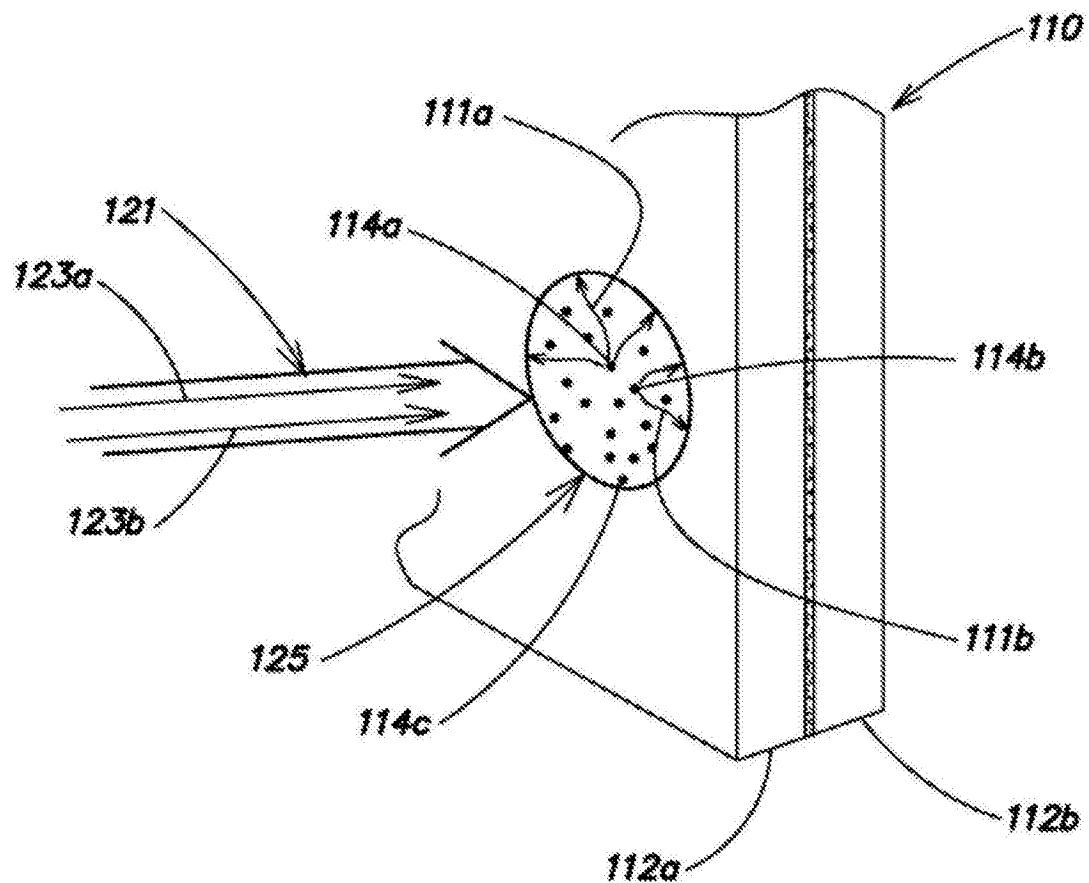


图1C

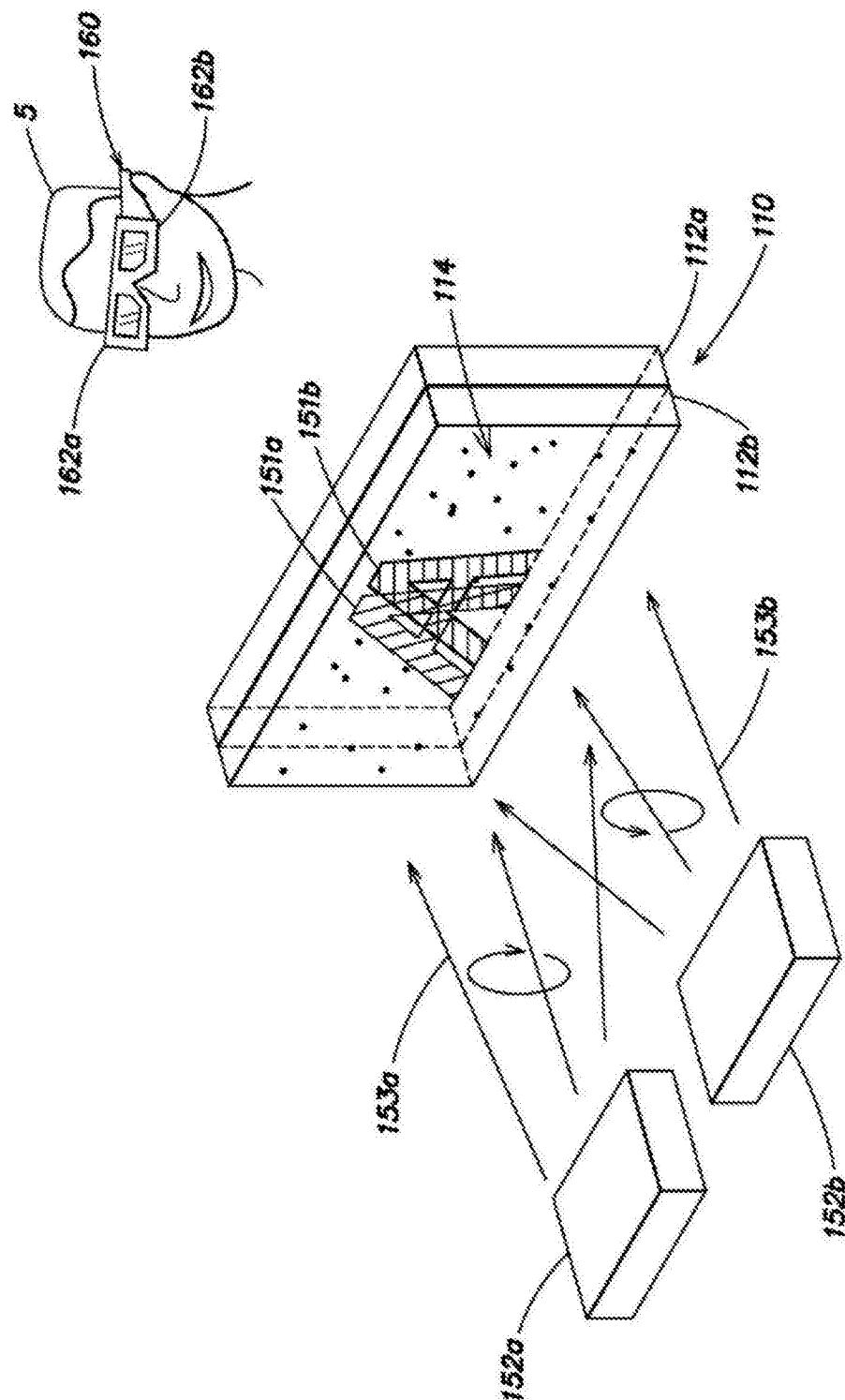


图1D

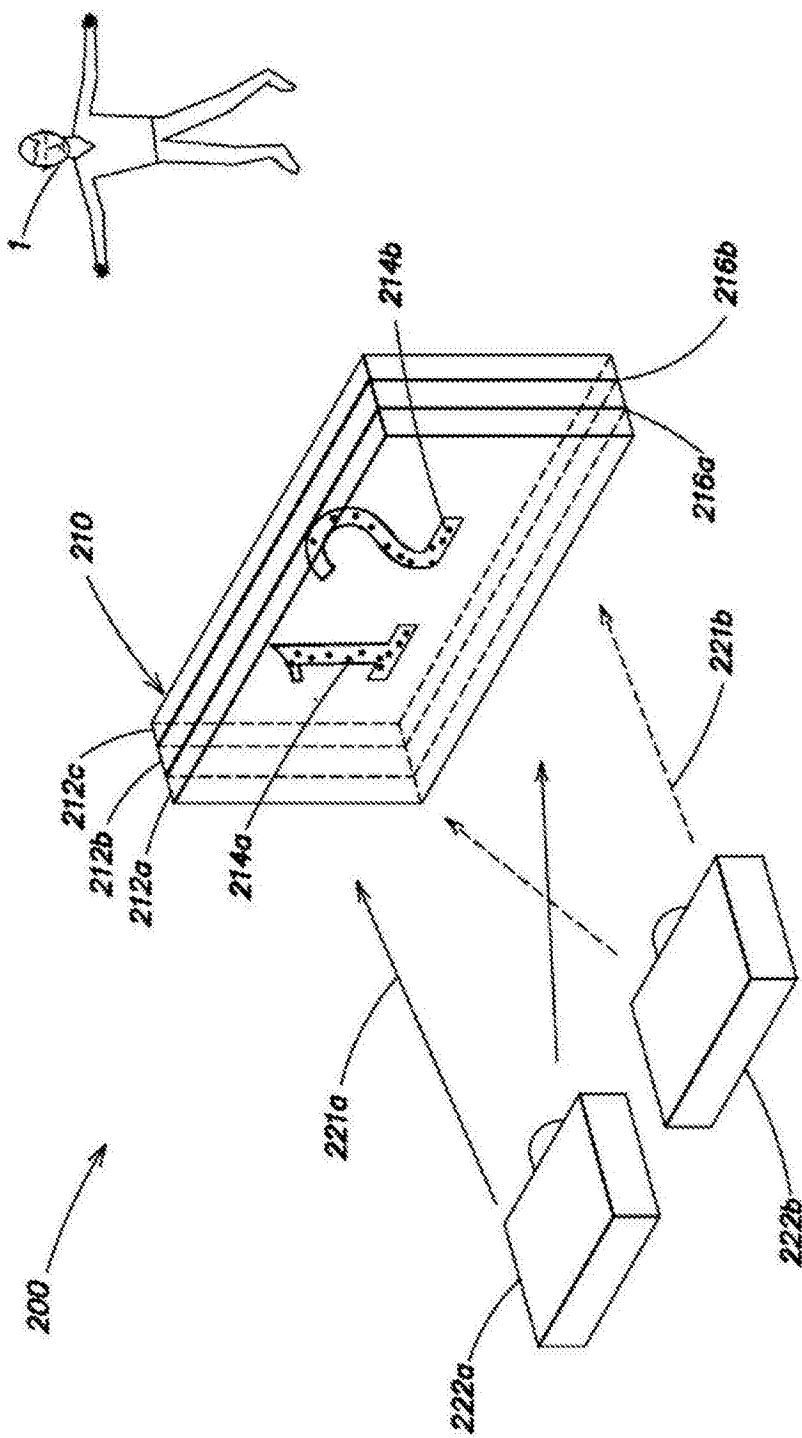


图2

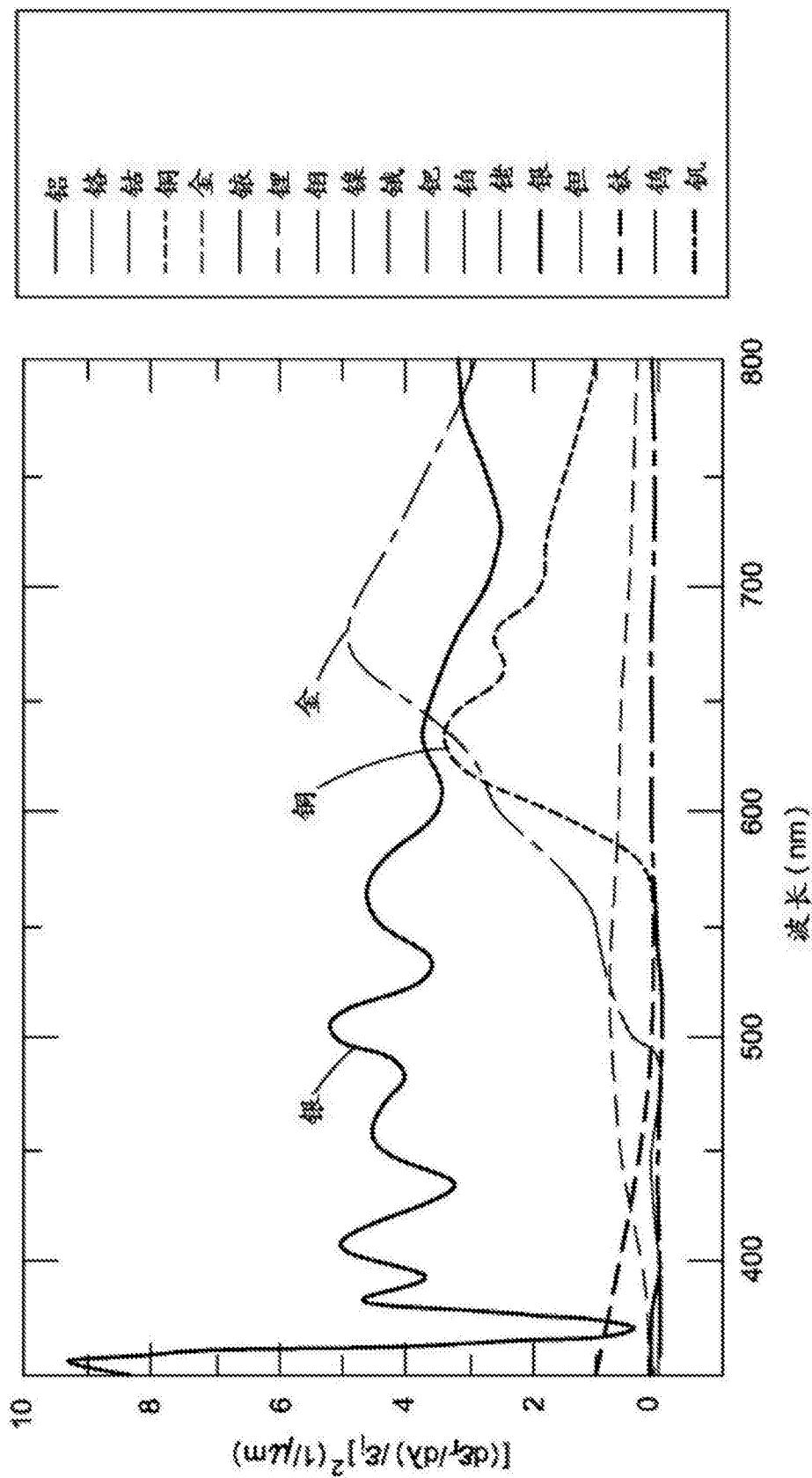


图3

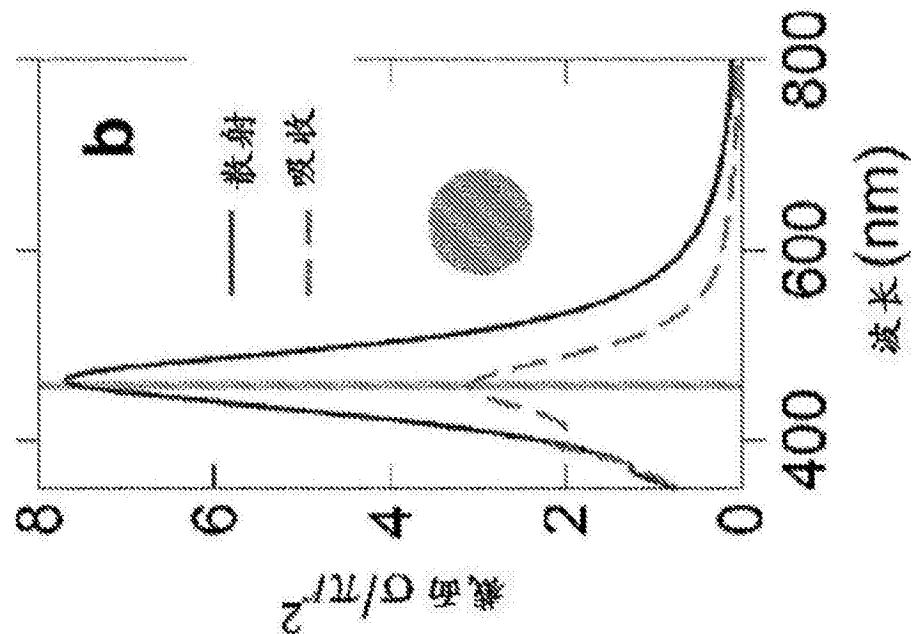


图4A

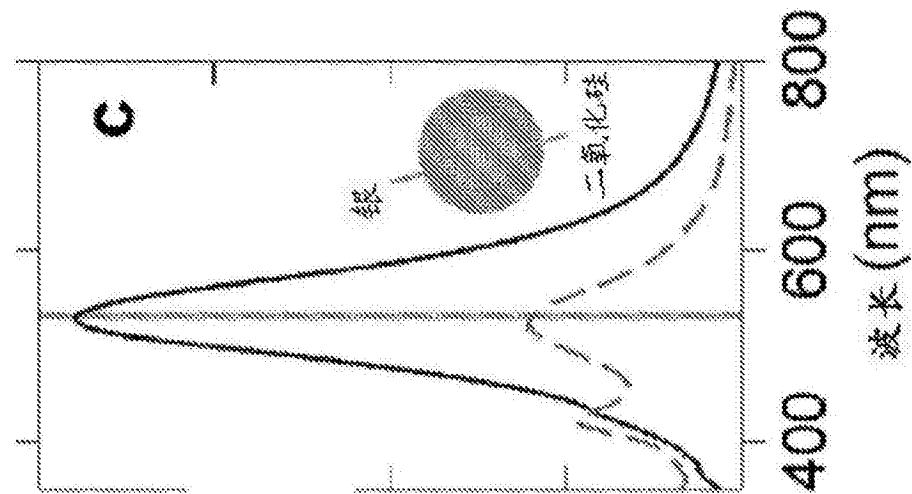


图4B

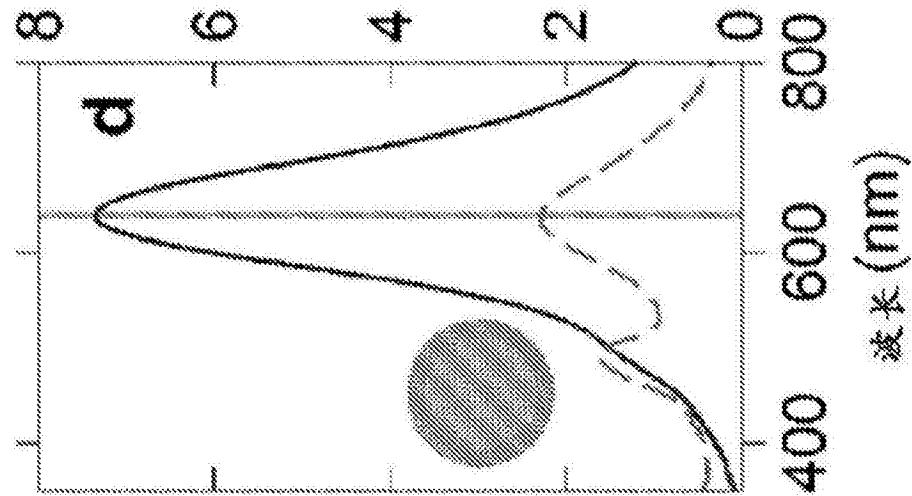


图4C

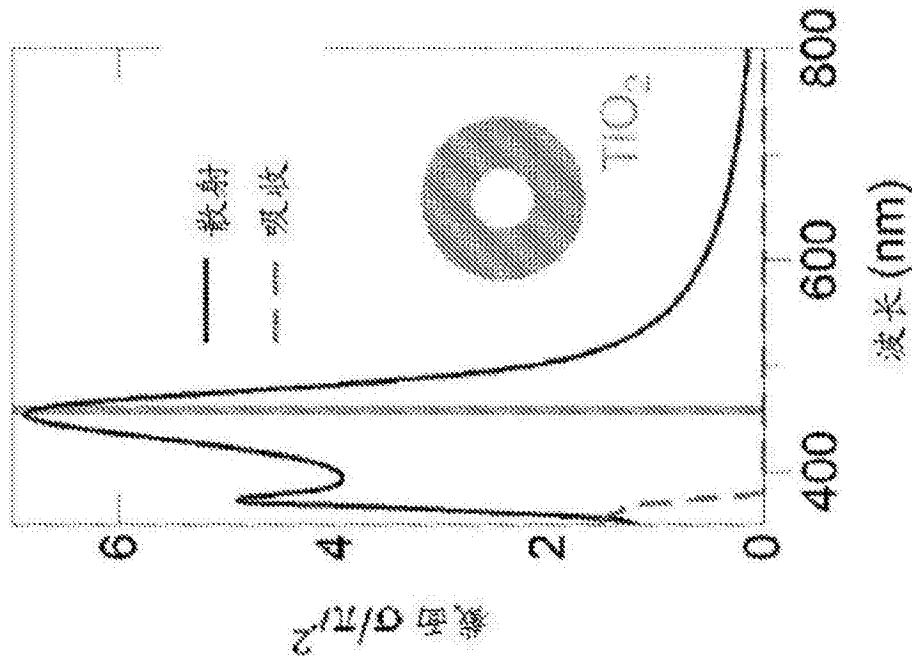


图5A

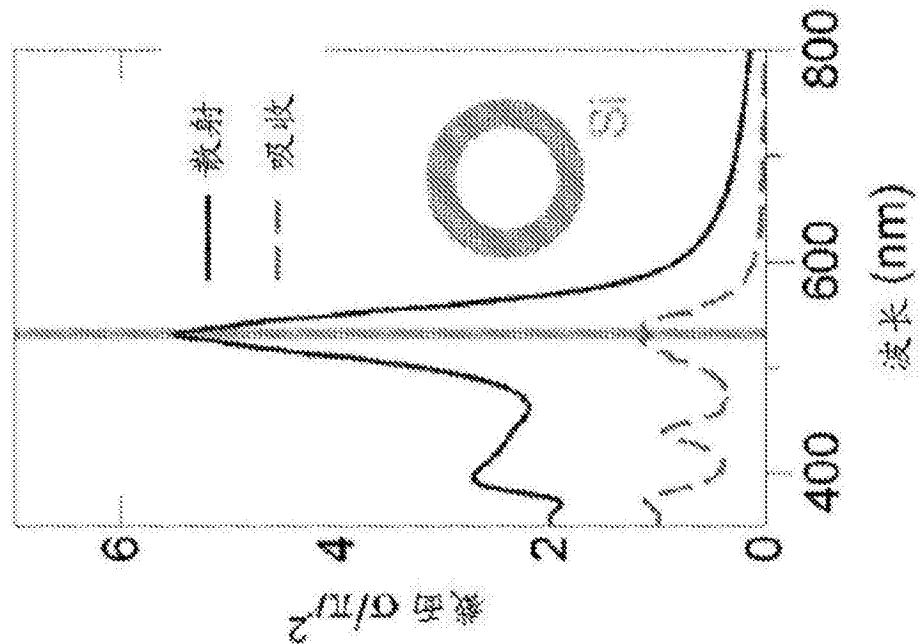


图5B

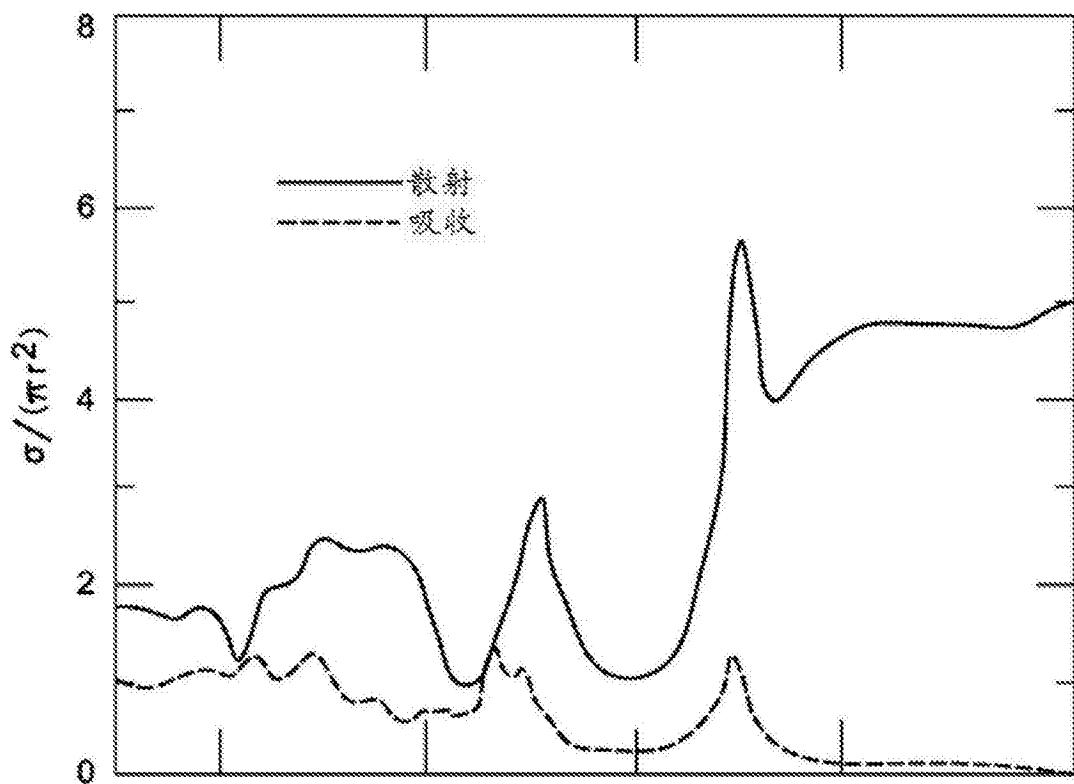


图6

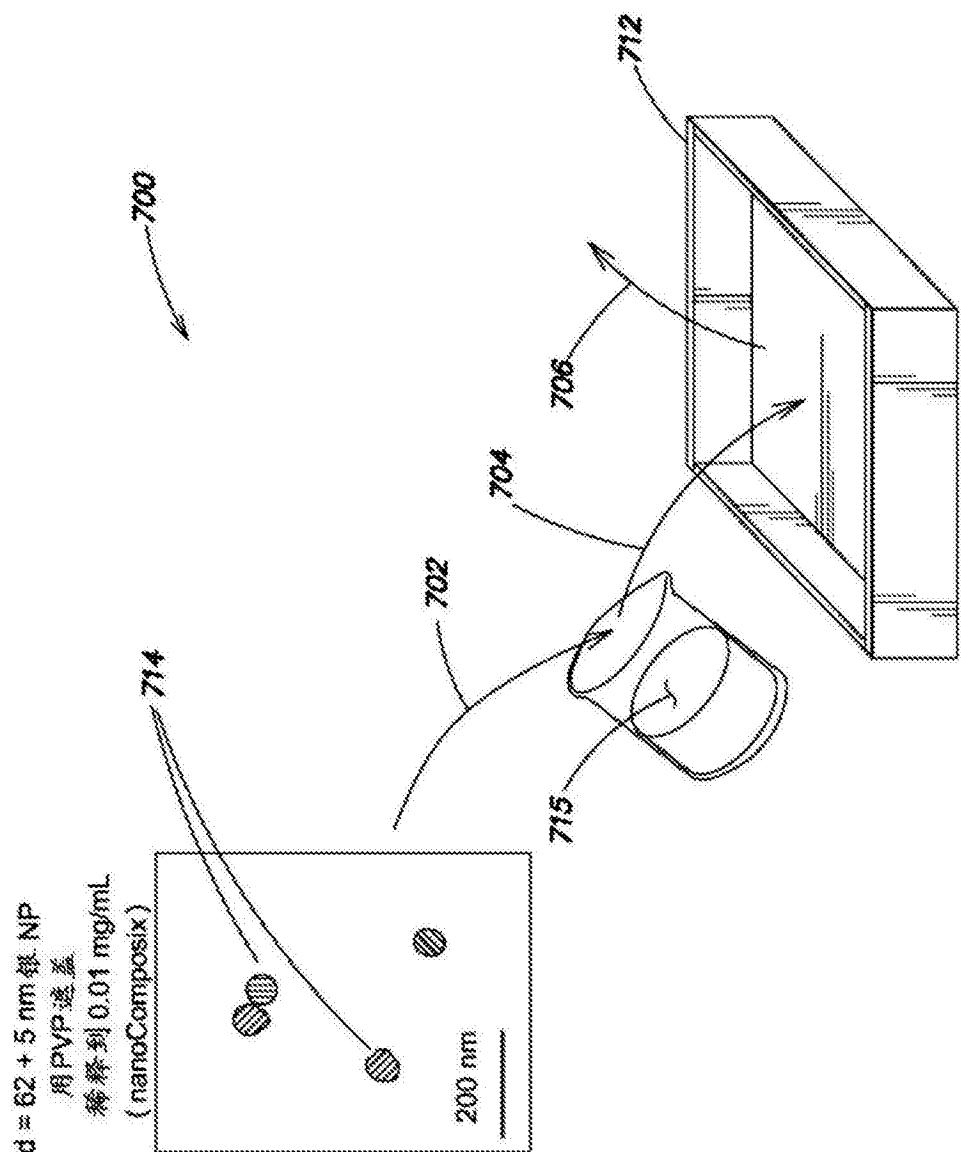


图7A

730

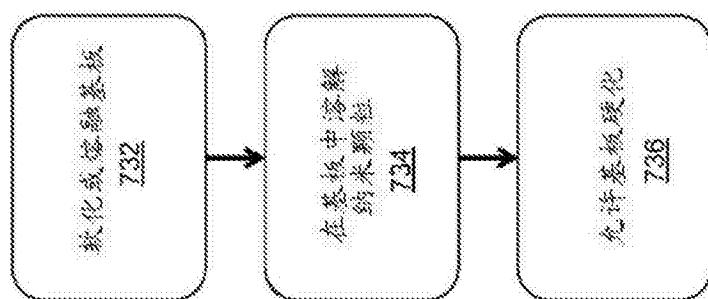


图7B

760

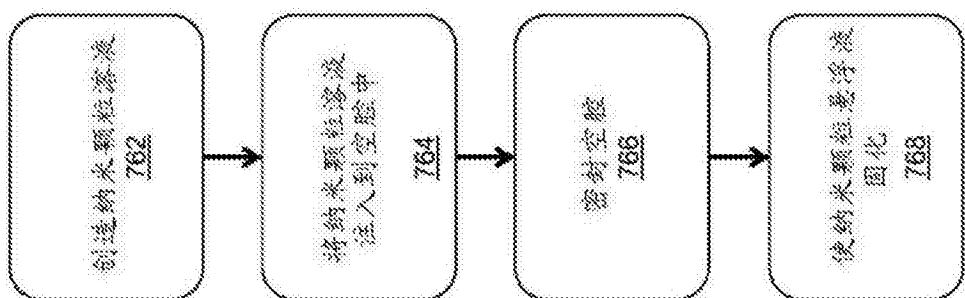


图7C

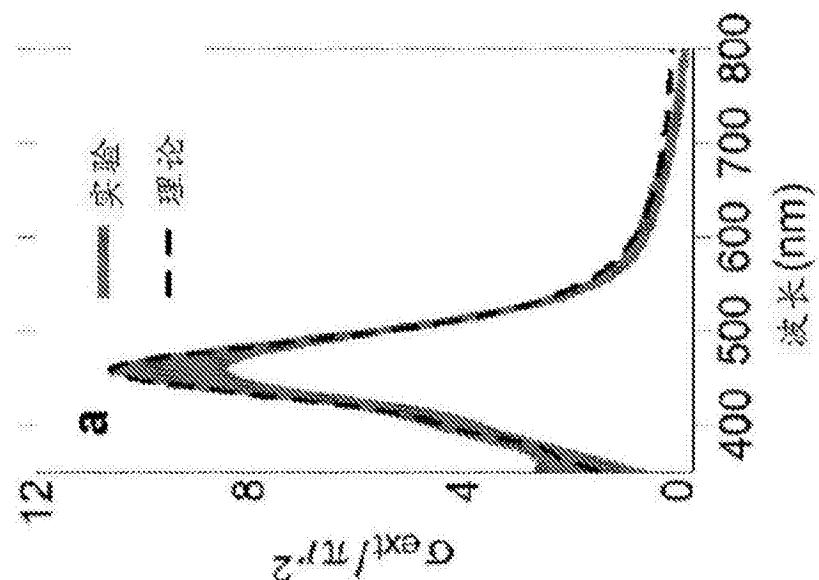


图8A

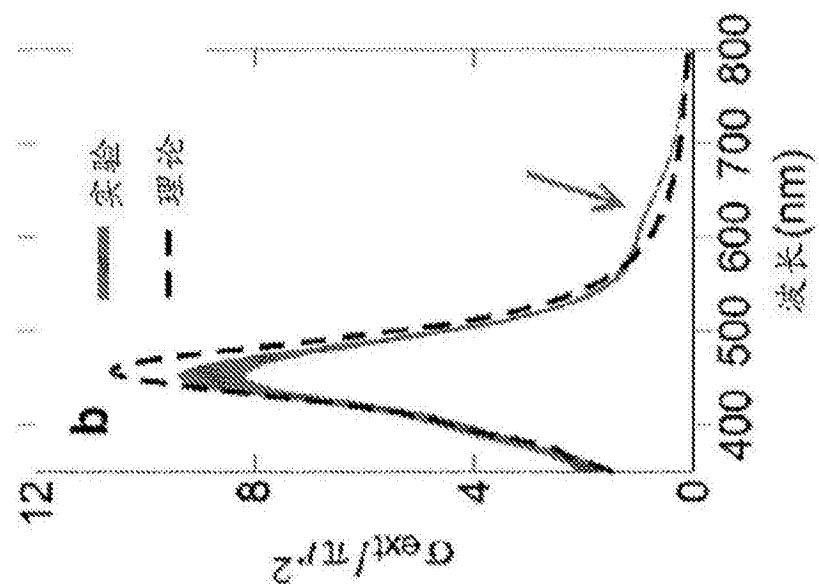


图8B

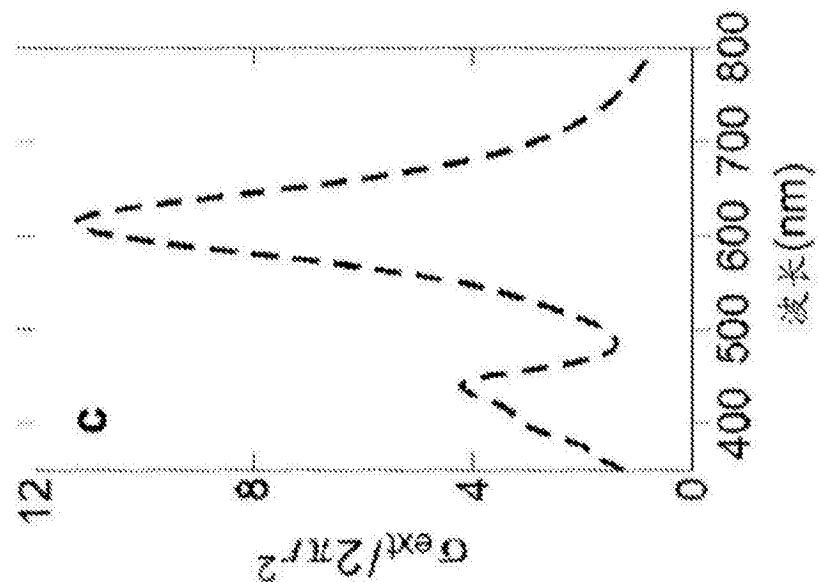


图8C

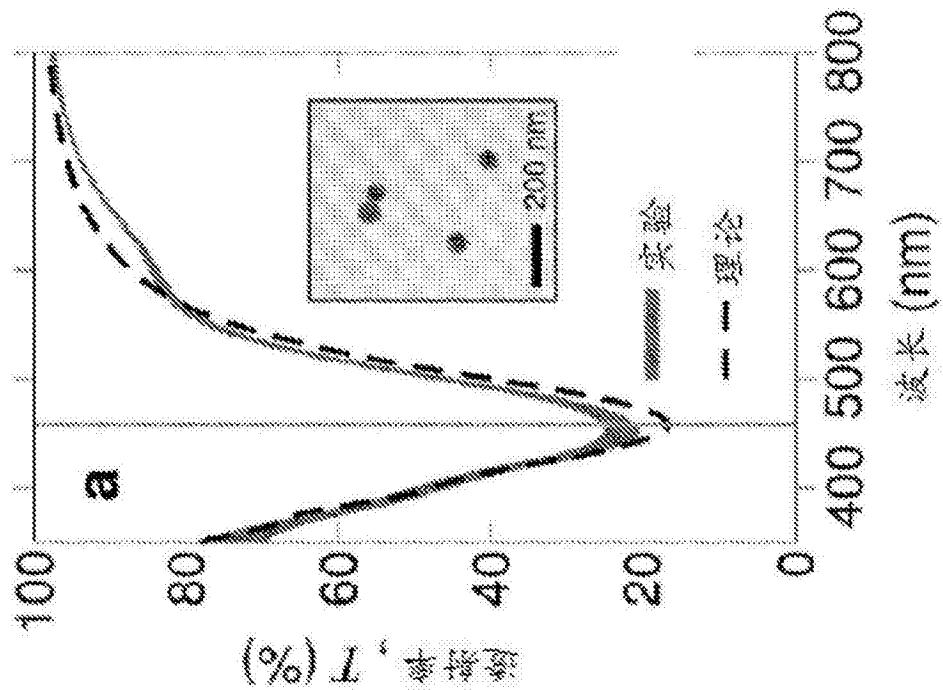


图9A

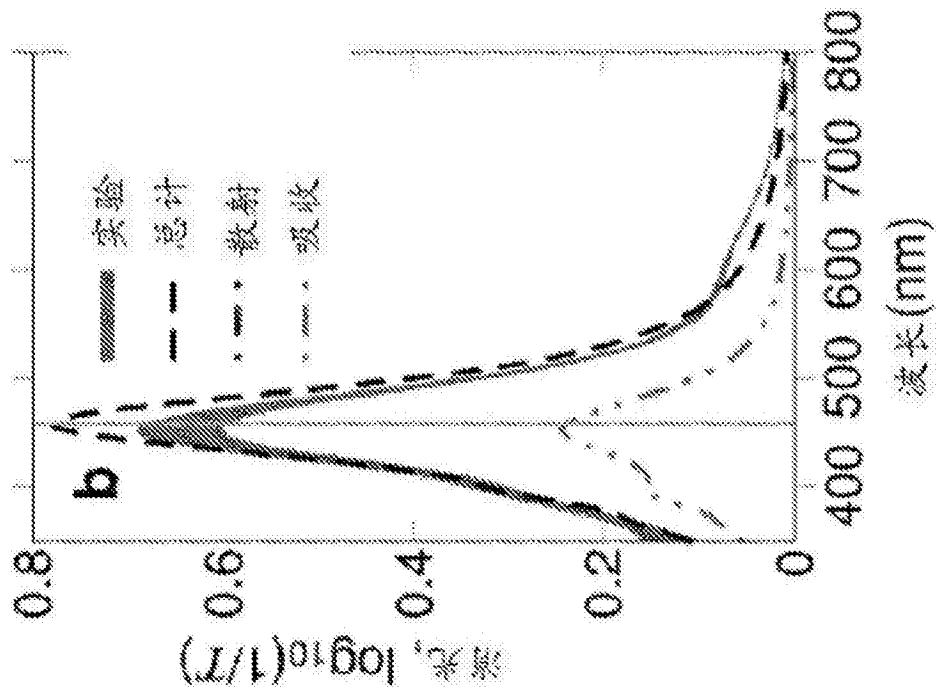


图9B



图10A

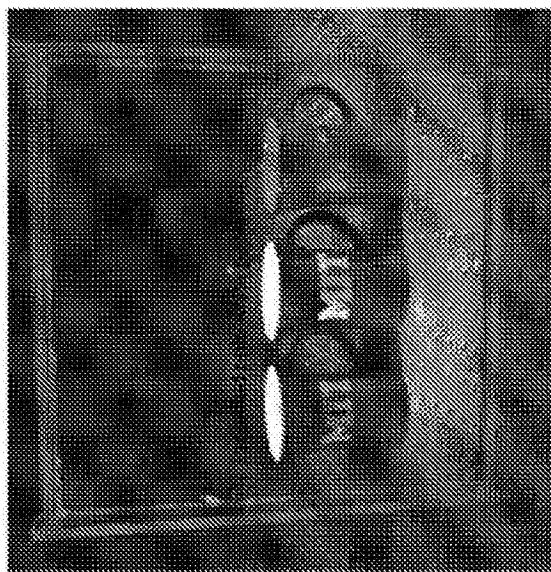


图10B

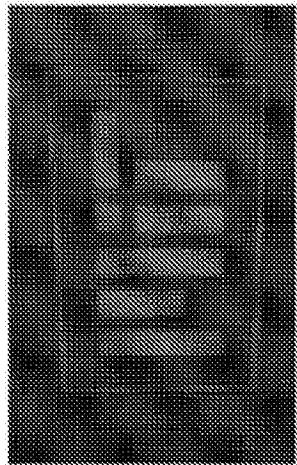


图11A

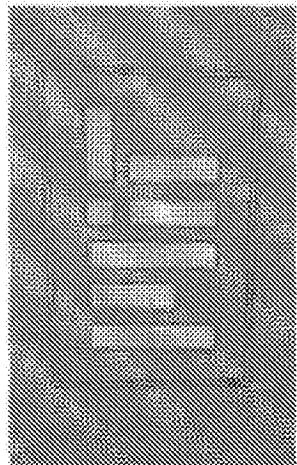


图11B