(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2022 年 1 月 27 日 (27.01.2022)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2022/017199 A1

(51) 国际专利分类号:
G02B 21/06 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2021/105491

(22) 国际申请日: 2021 年 7 月 9 日 (09.07.2021)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202010709243.8 2020年7月22日 (22.07.2020) CN

(71) 申请人: 南京大学 (NANJING UNIVERSITY) [CN/CN]; 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道163号, Jiangsu 210023 (CN)。

(72) 发明人: 李涛 (LI, Tao); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道163号, Jiangsu 210023 (CN)。 徐贝贝 (XU, Beibei); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道163号, Jiangsu 210023 (CN)。 祝世宁 (ZHU, Shining); 中国江苏省南京市栖霞区仙林大道163号, Jiangsu 210023 (CN)。

(74) 代理人: 北京方圆嘉禾知识产权代理有限公司 (BEIJING FINELAND IP FIRM); 中国北京市海淀区彩和坊路8号11层1104-2, Beijing 100080 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW。

(54) **Title:** SUPER-STRUCTURED LENS ARRAY BASED LARGE-VIEW-FIELD INTEGRATED MICROSCOPIC IMAGING DEVICE

(54) 发明名称: 一种基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置

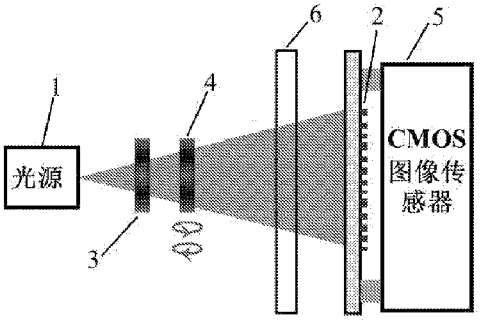


图 1

1 LIGHT SOURCE
5 COMPLEMENTARY METAL-OXIDE-SEMICONDUCTOR (CMOS) IMAGE SENSOR

(57) **Abstract:** A super-structured lens array (2) based large-view-field integrated microscopic imaging device, comprising: a light source (1), a super-structured lens array (2), a linear polarizer (3) and an image sensor (5), wherein the linear polarizer (3) is fixed at the rear of the light source (1), and the linear polarizer (3) is located on an emergent light path of the light source (1); the super-structured lens array (2) is fixed at the rear of the linear polarizer (3), and the super-structured lens array (2) is located on an emergent light path of the linear polarizer (3); an object (6) to be imaged is located between the linear polarizer (3) and the super-structured lens array (2); the image sensor (5) is located at the rear of the super-structured lens array (2); and the super-structured lens array (2) comprises a plurality of super-structured lenses which are arranged periodically. The imaging field of view can be enlarged without sacrificing the resolution, thus also increasing the working distance.

WO 2022/017199 A1

[见续页]

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：一种基于超构透镜阵列（2）的大视场集成显微成像装置，包括：光源（1）、超构透镜阵列（2）、线偏振片（3）和图像传感器（5）；线偏振片（3）固定于光源（1）的后方，且线偏振片（3）位于光源（1）的出射光路上；超构透镜阵列（2）固定于线偏振片（3）的后方，且超构透镜阵列（2）位于线偏振片（3）的出射光路上；待成像物体（6）位于线偏振片（3）和超构透镜阵列（2）之间；图像传感器（5）位于超构透镜阵列（2）的后方；超构透镜阵列（2）中包括周期性排布的多个超构透镜。可以实现在不牺牲分辨率不增加工作距离的条件下，扩大成像视场。

一种基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置

本申请要求于2020年07月22日提交中国专利局、申请号为202010709243.8、发明名称为“一种基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请中。

技术领域

本发明涉及显微成像领域，特别是涉及一种基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置。

背景技术

在光学显微成像领域，同时获得大视场和高分辨率是光学显微成像的重要目标之一。然而，传统光学显微镜因其成像原理空间带宽积的限制，在使用高倍率物镜时视场范围必然减小，无法同时实现高分辨率和大视场成像。另一方面，复杂的光学系统也使得显微镜变得越来越复杂、笨重和昂贵，极大地限制了显微镜的推广和应用。为了打破透镜成像单一光轴导致的放大倍率和视场范围相耦合的瓶颈，人们提出了无透镜显微成像和仿生复眼结构透镜阵列来实现大视场、高分辨的成像。但无透镜成像过程不是直接可视化的，且最终图像质量取决于图像处理算法，近年来人们通过提出各种改进的算法提高重建图像的效果，但仍然依赖于图像的后处理；人工复眼装置要么需要弯曲的光电探测器，要么图像失真严重，要么缺乏自调节能力，因此亟需改善这些问题。

发明内容

本发明的目的是提供一种基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置，以实现在不牺牲分辨率不增加工作距离的条件下，扩大成像视场。

为实现上述目的，本发明提供了如下方案：

一种基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置，包括：光源、超构透镜阵列、线偏振片和图像传感器；

所述线偏振片固定于所述光源的后方，且所述线偏振片位于所述光源的出射光路上；所述超构透镜阵列固定于所述线偏振片的后方，且所述超构透镜阵列位于所述线偏振片的出射光路上；待成像物体位于所述线偏振片和所述超构透镜阵列之间；所述图像传感器位于所述超构透镜阵列的后方；

所述超构透镜阵列中包括周期性排布的多个超构透镜，所述超构透镜在第一偏振光和第二偏振光的相位分布满足：

$$\begin{cases}\varphi_{p1}=\dfrac{2\pi}{\lambda_{p1}}\left(f_{p1}-\sqrt{x^2+y^2+f_{p1}^2}\right)\\ \varphi_{p2}=\dfrac{2\pi}{\lambda_{p2}}\left(f_{p2}-\sqrt{(x-a)^2+(y-b)^2+f_{p2}^2}\right)\end{cases}$$；其中，φ_{p1}为超构透镜p在第一偏振光的相位，λ_{p1}为超构透镜p在第一偏振光的波长，f_{p1}为超构透镜p在第一偏振光的焦距，超构透镜p在第一偏振光的中心坐标为$(0,0)$，(x,y)是超构透镜p的面内坐标；φ_{p2}为超构透镜p在第二偏振光的相位；λ_{p2}为超构透镜p在第二偏振光的波长，f_{p2}为超构透镜p在第二偏振光的焦距，(a,b)表示超构透镜p在第二偏振光下的中心与超构透镜p在第一偏振光下的中心之间的相对偏移位置。

可选的，还包括：四分之一波片；所述四分之一波片固定于所述线偏振片的后方，且位于所述线偏振片和所述超构透镜阵列之间。

可选的，通过调节所述四分之一波片的光轴与所述线偏振片偏振方向的空间关系，调节所述四分之一波片出射光的偏振状态；所述出射光的偏振状态包括；线偏振光、椭圆偏振光和圆偏振光。

可选的，所述超构透镜阵列中超构透镜的周期性排布方式包括；四方晶格排布和六角晶格排布。

可选的，第一透镜阵列中透镜的排布周期与第二透镜阵列中透镜的排布周期相同；所述第一透镜阵列为所述超构透镜阵列在所述第一偏振光入射时的透镜阵列，所述第二透镜阵列为所述超构透镜阵列在所述第二偏振光入射时的透镜阵列。

可选的，第一透镜阵列中透镜的排布周期与第二透镜阵列中透镜的排布周期不同；所述第一透镜阵列为所述超构透镜阵列在所述第一偏振光入射时的透镜阵列，所述第二透镜阵列为所述超构透镜阵列在所述第二偏振光入射时的透镜阵列。

可选的，所述超构透镜阵列中超构透镜的几何形状包括圆形、椭圆形和多边形。

根据本发明提供的具体实施例，本发明公开了以下技术效果：

本发明采用偏振复用的嵌套型超构透镜阵列，通过切换偏振即可获得两组视场互补的单一透镜阵列，可以消除单一透镜组成阵列产生的视场盲区，无需机械移动即可获得全视场的信息，利用透镜阵列的排布打破传统显微系统中视场和分辨率耦合的矛盾，在不牺牲分辨率和不增加工作距离条件下实现大视场、高分辨显微成像。其次，本发明具有可拓展性，设计加工的透镜阵列区域即为显微的视场范围，而扩大视场的同时分辨率不会退化。

并且，本发明设计简单，仅涉及单层偏振复用超构透镜阵列，无需对多层透镜进行对准、装配等。而且，本发明使用的偏振复用超构透镜阵列属于平板透镜阵列，体积超薄，与微电子制备工艺兼容，适合大规模生产，平板超薄结构便于与图像传感器集成。

说明书附图

为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案，下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动性的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 为本发明基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置的结构示意图；

图 2 为超构透镜阵列的周期性排布示意图；

图 3 为实施例 1 的超构透镜阵列在两个偏振光入射时的透镜阵列示意图；

图 4 为实施例 1 的超构透镜阵列在两个偏振光入射时的聚焦仿真结果图；

图 5 为实施例 2 的超构透镜阵列的光学显微图；

图 6 为本发明基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置所得大视场成像示意图；

图 7 为生物样本光学显微图和本发明基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置所得大视场显微图的对比图。

符号说明:

光源-1，超构透镜阵列-2，线偏振片-3，四分之一波片-4，图像传感器-5，待成像物体-6。

具体实施方式

下面将结合本发明实施例中的附图，对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述，显然，所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例，而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例，本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例，都属于本发明保护的范围。

为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

图 1 为本发明基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置的结构示意图。如图 1 所示，本发明基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置包括:光源 1、超构透镜阵列 2、线偏振片 3 和图像传感器 5。

所述线偏振片 3 固定于所述光源 1 的后方，且所述线偏振片 3 位于所述光源 1 的出射光路上; 所述超构透镜阵列 2 固定于所述线偏振片 3 的后方，且所述超构透镜阵列 2 位于所述线偏振片 3 的出射光路上; 待成像物体 6 位于所述线偏振片 3 和所述超构透镜阵列 2 之间; 所述图像传感器 5 位于所述超构透镜阵列 2 的后方。超构透镜阵列 2 和图像传感器 5 直接集成在一起，构成大视场显微成像系统，例如可以采用外部胶装、夹持固定、流片封装等方式集成。超构透镜阵列 2 为嵌套型超构透镜阵列，通过切换偏振消除单一透镜阵列中的视场盲区，打破成像空间带宽积限制，在不牺牲分辨率和不增加工作距离条件下扩大成像视场，实现无需进行机械移动的大视场、高分辨成像。

所述超构透镜阵列 2 中包括周期性排布的多个超构透镜，每个超构透镜在第一偏振光和第二偏振光的相位分布满足:

$$\begin{cases} \varphi_{p1} = \dfrac{2\pi}{\lambda_{p1}}\left(f_{p1} - \sqrt{x^2 + y^2 + f_{p1}^2}\right) \\ \varphi_{p2} = \dfrac{2\pi}{\lambda_{p2}}\left(f_{p2} - \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2 + f_{p2}^2}\right) \end{cases};$$

其中，φ_{p1} 为超构透镜 p 在第一偏振光的相位，λ_{p1} 为超构透镜 p 在第一偏

振光的波长，f_{p1}为超构透镜p在第一偏振光的焦距，超构透镜p在第一偏振光的中心坐标为$(0,0)$，(x,y)是超构透镜p的面内坐标；φ_{p2}为超构透镜p在第二偏振光的相位；λ_{p2}为超构透镜p在第二偏振光的波长，f_{p2}为超构透镜p在第二偏振光的焦距，(a,b)表示超构透镜p在第二偏振光下的中心与超构透镜p在第一偏振光下的中心之间的相对偏移位置。

为了更丰富地调节偏振光的状态，本发明基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置还包括四分之一波片 4，所述四分之一波片 4 固定于所述线偏振片 3 的后方，且位于所述线偏振片 3 和所述超构透镜阵列 2 之间。通过调节所述四分之一波片 4 的光轴与所述线偏振片 3 偏振方向的空间关系，可以调节所述四分之一波片 4 出射光的偏振状态。所述出射光的偏振状态包括：线偏振光、椭圆偏振光和圆偏振光。具体的，当四分之一波片 4 的光轴取向为：e 轴或 o 轴与线偏振片 3 的偏振方向一致时，出射的偏振光为线偏振光；当四分之一波片 4 的光轴取向为：e 轴或 o 轴与线偏振片 3 的偏振方向呈 45 度角时，出射的偏振光为圆偏振光；当四分之一波片 4 的光轴取向为其它角度时，出射的偏振光为椭圆偏振光。

本发明中所述超构透镜阵列 2 中超构透镜的几何形状可以为圆形、椭圆形或多边形。超构透镜阵列 2 中超构透镜的周期性排布方式可以为四方晶格排布或六角晶格排布。而且，超构透镜阵列 2 在所述第一偏振光入射时透镜的排布周期与超构透镜阵列 2 在所述第二偏振光入射时透镜的排布周期可以相同，也可以不同。如图 2 所示，图 2 中的（a）部分为四方晶格排布周期，图 2 中的（b）部分为六角晶格排布周期，图 2 中的（c）部分为六角晶格排布周期，且超构透镜阵列在两个偏振光入射时透镜的排布周期不同。

为了更好的理解本发明的方案，下面结合具体实施例进一步进行说明。

实施例 1

图 3 为实施例 1 的超构透镜阵列在两个偏振光入射时的透镜阵列示意图，如图 3 中的(a)部分所示，本实施例中超构透镜阵列为 2×2 的超构透镜阵列，在偏振 1（左旋圆偏振光）入射时形成透镜 A 阵列，如图 3 中的（b）部分所示，在偏振 2（右旋圆偏振光）入射时形成透镜 B 阵列。本实施例中，超构透镜采用方形的几何形状，其焦距、设计波长均为f和λ，则每个超构透镜在两

个偏振下的相位分布具体为:

$$\begin{cases}\varphi_{p1}=\dfrac{2\pi}{\lambda}\left(f-\sqrt{x^2+y^2+f^2}\right)\\ \varphi_{p2}=\dfrac{2\pi}{\lambda}\left(f-\sqrt{\left((D/2)-abs(x)\right)^2+\left((D/2)-abs(y)\right)^2+f^2}\right)\end{cases};$$

其中 D 为透镜的边长，实际加工定为 200μm，工作波长 λ 为 630nm。

为了验证实施例 1 中设计的准确性和可行性，首先利用仿真模拟软件对设计的偏振复用超构透镜阵列的性能进行评估。由于商用仿真软件（Lumerical FDTD Solutions）仿真大口径超构透镜阵列所需计算资源较大、计算时间较长，实际仿真时保证偏振复用超构透镜的数值孔径不变，减小透镜的直径，因此将最终的仿真参数定为偏振复用超构透镜直径为 10.0μm、焦距 12.5m。仿真结果如图 4 所示，图 4 中的（a）部分为超构透镜阵列 xy 面结构排布示意图。图 4 中的（b）部分为左旋圆偏振入射光（上图）和右旋圆偏振入射光（下图）超构透镜阵列焦平面归一化的电场强度分布图，可以明显看到左旋圆偏振光入射时 4 个透镜的聚焦焦斑和右旋圆偏振光入射时 1 个完整透镜的聚焦焦斑、边上 4 个 1/2 透镜的焦斑以及角上 4 个 1/4 透镜的焦斑，并且两种偏振超构透镜之间的串扰很小。图 4 中的（c）部分为左旋圆偏振入射光（上图）和右旋圆偏振入射光（下图）偏振复用超构透镜阵列焦平面与入射光正交偏振分量归一化的电场强度分布图，可以看到进行检偏之后，透镜聚焦的信噪比更高。

实施例 2

本实施例利用电子束曝光和干法刻蚀加工得到超构透镜阵列。图 5 所示为超构透镜 6×6 阵列对应的光学显微镜照片，其中单个偏振复用透镜边长 200μm，两偏振对应的透镜焦距均为 250μm，工作波长为 630nm。将该透镜阵列按本发明方法集成到图像传感器，并将美国空军标靶作为成像物体进行成像，切换偏振采集到左旋圆偏振入射光和右旋圆偏振入射光的成像图如图 6 中的（a）部分和图 6 中的（b）部分所示。通过后续图像拼接，最终可以获得全视场成像图如图 6 中的（c）部分所示，其中分辨率和单个透镜成像相当（≈ 1.74μm），而视场相对于单个透镜扩大 36 倍。

用本发明所示的基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像技术对一些生

物样本进行成像。生物样本的光学显微镜照片和本发明所述成像技术所得显微图片的对比如图 7 所示，分别是巴氏涂片中的宫颈细胞（图 7 中的（a）部分），苍蝇翅膀样本（图 7 中的（b）部分），舌纵切切片标本（图 7 中的（c）部分）和心肌纵切切片标本（图 7 中的（d）部分），图 7 中的（a）部分、图 7 中的（b）部分、图 7 中的（c）部分和图 7 中的（d）部分中，左侧图像为光学显微镜照片，右侧图像为本发明所得大视场显微图。可以看到，相比于同样视场范围的光学显微镜照片，本发明所示的基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像技术所得显微图片对比度好，细节清晰。

本说明书中各个实施例采用递进的方式描述，每个实施例重点说明的都是与其他实施例的不同之处，各个实施例之间相同相似部分互相参见即可。

本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述，以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想；同时，对于本领域的一般技术人员，依据本发明的思想，在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述，本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

权 利 要 求 书

1、一种基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置，其特征在于，包括：光源、超构透镜阵列、线偏振片和图像传感器；

所述线偏振片固定于所述光源的后方，且所述线偏振片位于所述光源的出射光路上；所述超构透镜阵列固定于所述线偏振片的后方，且所述超构透镜阵列位于所述线偏振片的出射光路上；待成像物体位于所述线偏振片和所述超构透镜阵列之间；所述图像传感器位于所述超构透镜阵列的后方；

所述超构透镜阵列中包括周期性排布的多个超构透镜，所述超构透镜在第一偏振光和第二偏振光的相位分布满足：$\begin{cases}\varphi_{p1}=\dfrac{2\pi}{\lambda_{p1}}\left(f_{p1}-\sqrt{x^2+y^2+f_{p1}^2}\right)\\ \varphi_{p2}=\dfrac{2\pi}{\lambda_{p2}}\left(f_{p2}-\sqrt{(x-a)^2+(y-b)^2+f_{p2}^2}\right)\end{cases}$；其中，$\varphi_{p1}$为超构透镜$p$在第一偏振光的相位，$\lambda_{p1}$为超构透镜$p$在第一偏振光的波长，$f_{p1}$为超构透镜$p$在第一偏振光的焦距，超构透镜$p$在第一偏振光的中心坐标为$(0,0)$，$(x,y)$是超构透镜$p$的面内坐标；$\varphi_{p2}$为超构透镜$p$在第二偏振光的相位；$\lambda_{p2}$为超构透镜$p$在第二偏振光的波长，$f_{p2}$为超构透镜$p$在第二偏振光的焦距，$(a,b)$表示超构透镜$p$在第二偏振光下的中心与超构透镜$p$在第一偏振光下的中心之间的相对偏移位置。

2、根据权利要求1所述的基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置，其特征在于，还包括：四分之一波片；所述四分之一波片固定于所述线偏振片的后方，且位于所述线偏振片和所述超构透镜阵列之间。

3、根据权利要求2所述的基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置，其特征在于，通过调节所述四分之一波片的光轴与所述线偏振片偏振方向的空间关系，调节所述四分之一波片出射光的偏振状态；所述出射光的偏振状态包括：线偏振光、椭圆偏振光和圆偏振光。

4、根据权利要求1所述的基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置，其特征在于，所述超构透镜阵列中超构透镜的周期性排布方式包括：四方晶格排布和六角晶格排布。

5、根据权利要求1所述的基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置，

其特征在于，第一透镜阵列中透镜的排布周期与第二透镜阵列中透镜的排布周期相同；所述第一透镜阵列为所述超构透镜阵列在所述第一偏振光入射时的透镜阵列，所述第二透镜阵列为所述超构透镜阵列在所述第二偏振光入射时的透镜阵列。

6、根据权利要求 1 所述的基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置，其特征在于，第一透镜阵列中透镜的排布周期与第二透镜阵列中透镜的排布周期不同；所述第一透镜阵列为所述超构透镜阵列在所述第一偏振光入射时的透镜阵列，所述第二透镜阵列为所述超构透镜阵列在所述第二偏振光入射时的透镜阵列。

7、根据权利要求 1 所述的基于超构透镜阵列的大视场集成显微成像装置，其特征在于，所述超构透镜阵列中超构透镜的几何形状包括圆形、椭圆形和多边形。

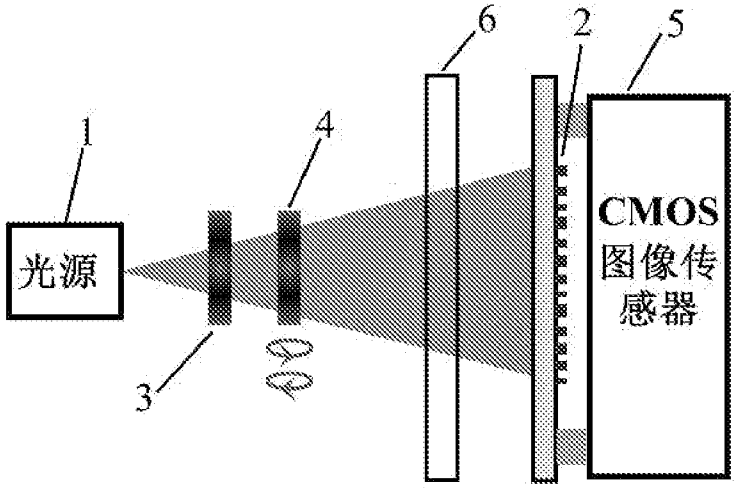
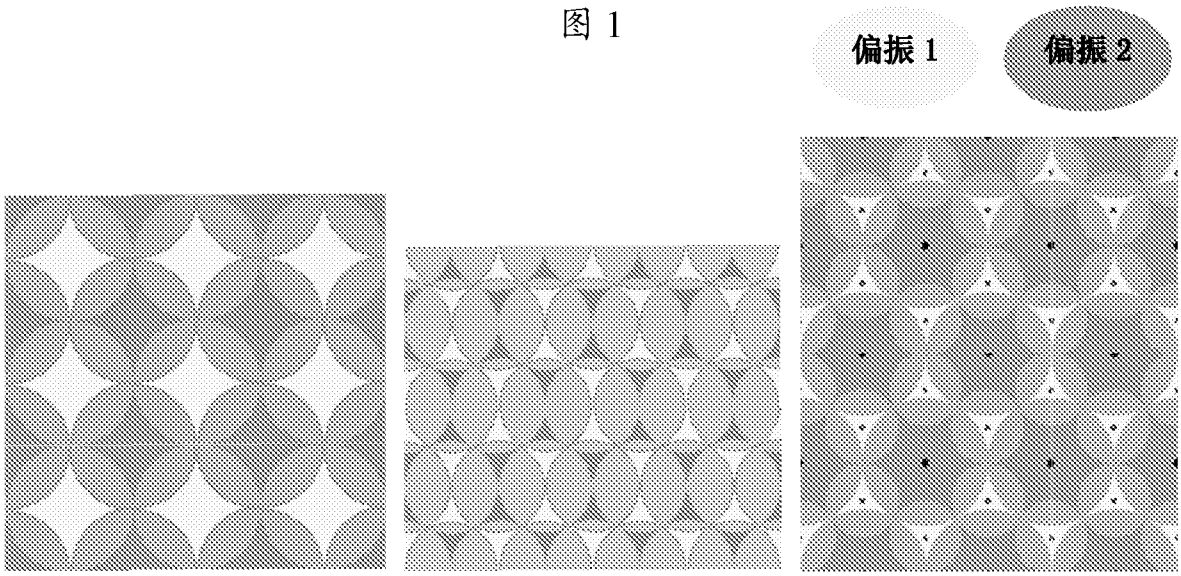


图 1



（a） （b） （c）

图 2

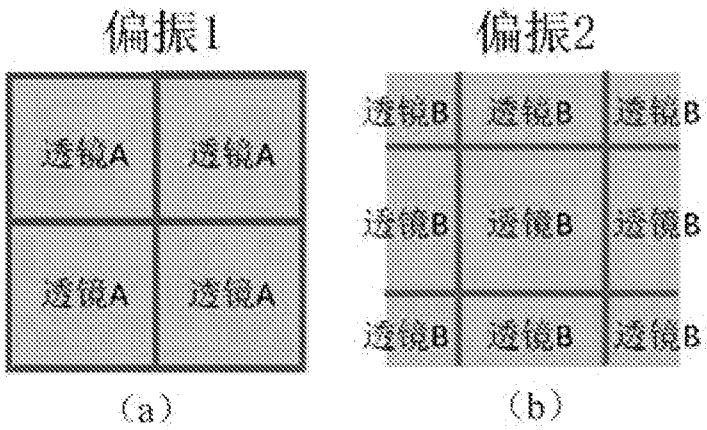

偏振1
偏振2
透镜A
透镜A
透镜A
透镜A
透镜B
透镜B
透镜B
透镜B
透镜B
透镜B
透镜B
透镜B
透镜B
(a)
(b)

图 3

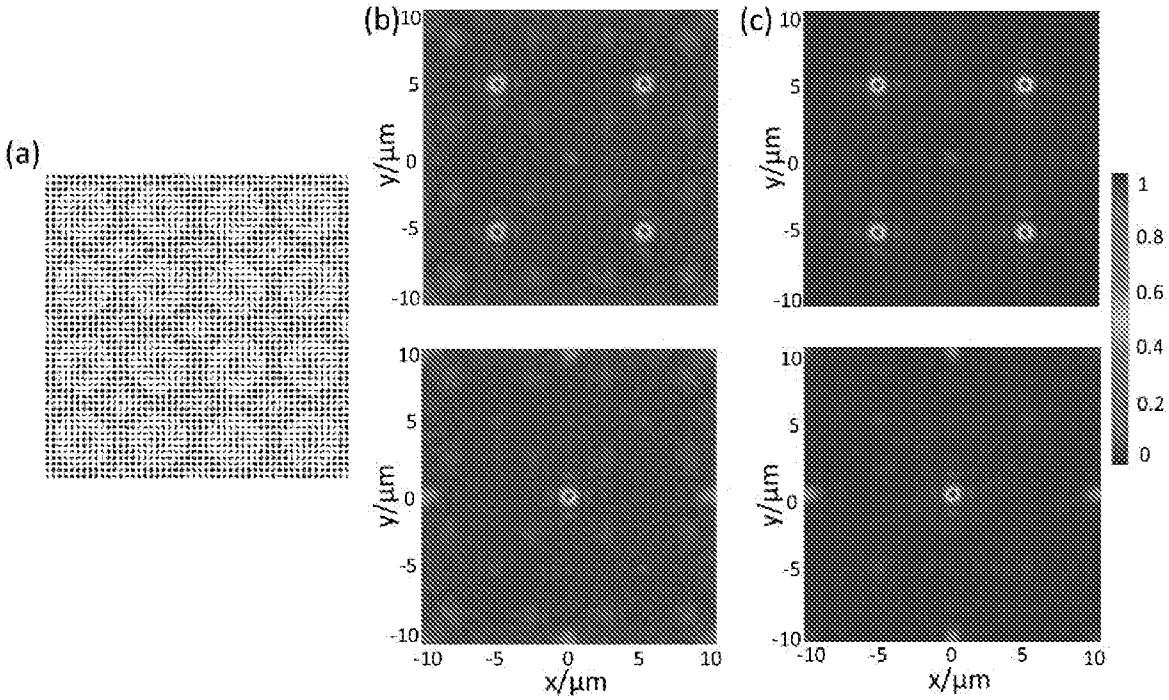

(a)
(b)
(c)
y/μm
x/μm
10
5
0
-5
-10
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0

图 4

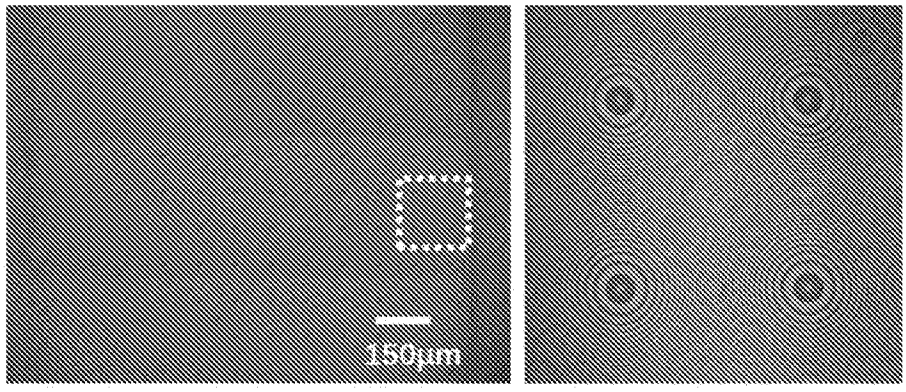


图 5

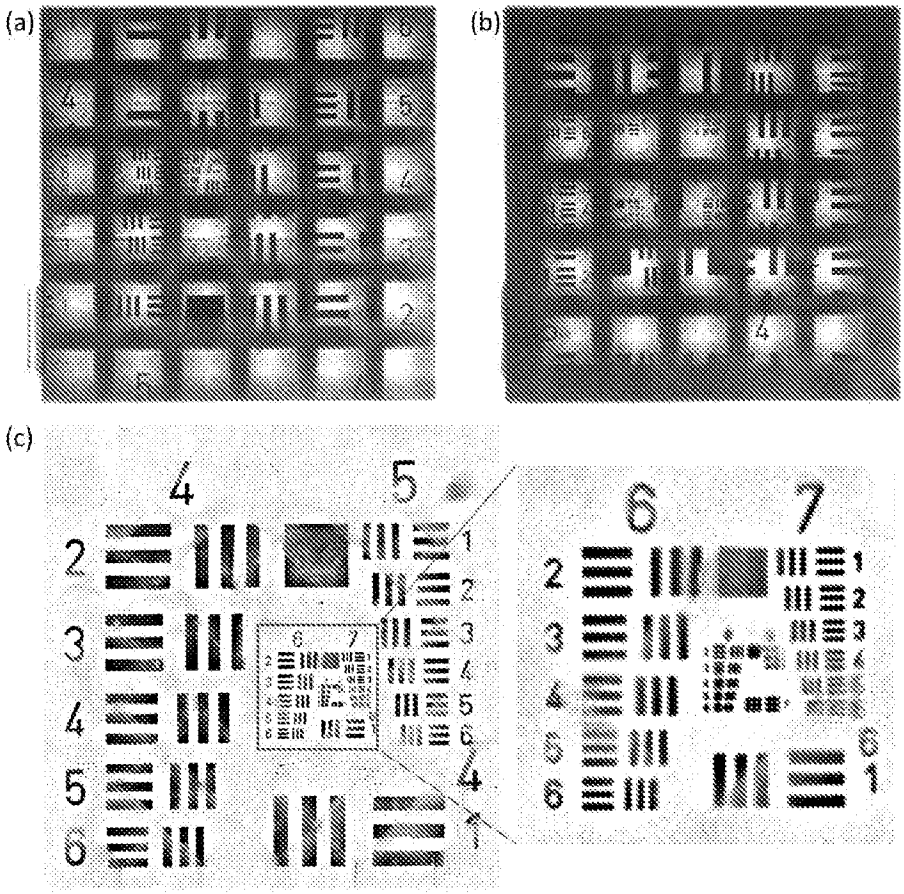


图 6

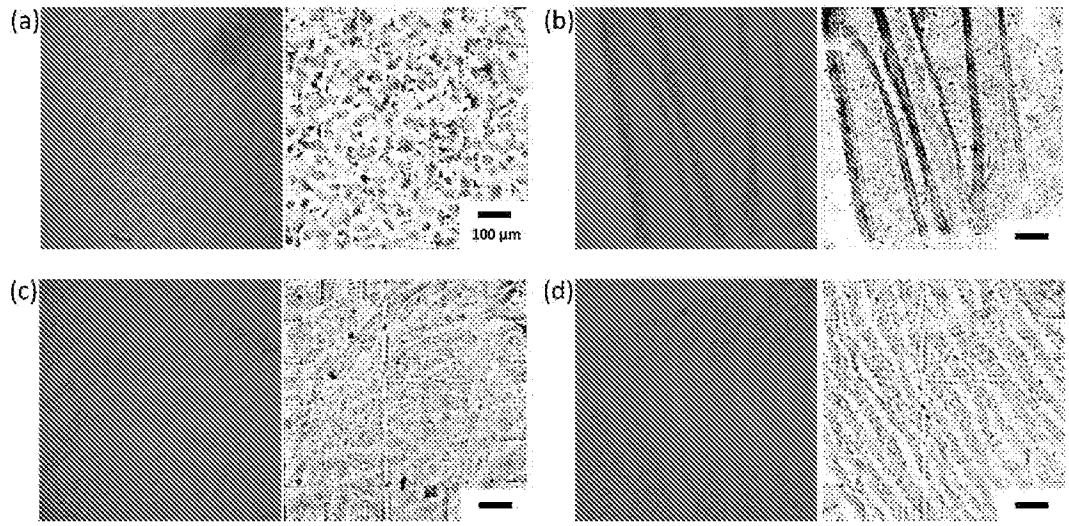


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2021/105491

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 21/06(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B 21/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNPAT, CNKI, WPI, EPODOC: 李涛, 徐贝贝, 祝世宁, 超表面, 超平面, 超透镜, 超构, 偏振, 偏光, 极化光, 左旋, 右旋, 偏振片, metalens, polariz+, left handed, right handed

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 111722392 A (NANJING UNIVERSITY) 29 September 2020 (2020-09-29) description, paragraphs [0025]-[0043], and figures 1-7	1-7
Y	CN 111272066 A (NANJING UNIVERSITY) 12 June 2020 (2020-06-12) description, paragraphs [0030]-[0047], and figures 1-6	1-7
Y	CN 111338156 A (NATIONAL CENTER FOR NANOSCIENCE AND TECHNOLOGY) 26 June 2020 (2020-06-26) description, paragraphs [0004]-[0015], and figures 1-4	1-7
A	CN 109343217 A (NANJING UNIVERSITY) 15 February 2019 (2019-02-15) entire document	1-7
A	CN 111426381 A (NANJING UNIVERSITY) 17 July 2020 (2020-07-17) entire document	1-7
A	US 2015219806 A1 (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 06 August 2015 (2015-08-06) entire document	1-7

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
14 September 2021	**28 September 2021**

Name and mailing address of the ISA/CN	Authorized officer
China National Intellectual Property Administration (ISA/CN) **No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao, Haidian District, Beijing 100088** **China**	
Facsimile No. **(86-10)62019451**	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2021/105491

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 111722392 A	29 September 2020	None	
CN 111272066 A	12 June 2020	None	
CN 111338156 A	26 June 2020	None	
CN 109343217 A	15 February 2019	None	
CN 111426381 A	17 July 2020	None	
US 2015219806 A1	06 August 2015	US 9482796 B2	01 November 2016

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2021/105491

A. 主题的分类

G02B 21/06(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

G02B 21/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

CNPAT,CNKI,WPI,EPODOC: 李涛，徐贝贝，祝世宁，超表面，超平面，超透镜，超构，偏振，偏光，极化光，左旋，右旋，偏振片，metalens，polariz+，left handed，right handed

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 111722392 A (南京大学) 2020年 9月 29日 (2020-09-29) 说明书第[0025]-[0043]段、图1-7	1-7
Y	CN 111272066 A (南京大学) 2020年 6月 12日 (2020-06-12) 说明书第[0030]-[0047]段、图1-6	1-7
Y	CN 111338156 A (国家纳米科学中心) 2020年 6月 26日 (2020-06-26) 说明书第[0004]-[0015]段、图1-4	1-7
A	CN 109343217 A (南京大学) 2019年 2月 15日 (2019-02-15) 全文	1-7
A	CN 111426381 A (南京大学) 2020年 7月 17日 (2020-07-17) 全文	1-7
A	US 2015219806 A1 (CALIFORNIA INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 2015年 8月 6日 (2015-08-06) 全文	1-7

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2021年 9月 14日	2021年 9月 28日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中国国家知识产权局(ISA/CN) 中国 北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 李妍 电话号码 86-(10)-53962574

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2021/105491

检索报告引用的专利文件	公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN 111722392 A	2020年 9月 29日	无	
CN 111272066 A	2020年 6月 12日	无	
CN 111338156 A	2020年 6月 26日	无	
CN 109343217 A	2019年 2月 15日	无	
CN 111426381 A	2020年 7月 17日	无	
US 2015219806 A1	2015年 8月 6日	US 9482796 B2	2016年 11月 1日