(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
2023 年 8 月 31 日 (31.08.2023)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2023/160228 A1

(51) 国际专利分类号:
G02B 1/00 (2006.01) *G02B 27/00* (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2022/143174

(22) 国际申请日: 2022 年 12 月 29 日 (29.12.2022)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
202210170121.5 2022年2月23日 (23.02.2022) CN

(71) 申请人: 深圳迈塔兰斯科技有限公司(SHENZHEN METALENX TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市宝安区新安街道上合社区33区大宝路83号美生慧谷科技园秋谷8栋6楼, Guangdong 518000 (CN)。

(72) 发明人: 郝成龙(HAO, Chenglong); 中国广东省深圳市宝安区新安街道上合社区33区大宝路83号美生慧谷科技园秋谷8栋6楼, Guangdong 518000 (CN)。 谭凤泽(TAN, Fengze); 中国广东省深圳市宝安区新安街道上合社区33区大宝路83号美生慧谷科技园秋谷8栋6楼, Guangdong 518000 (CN)。 朱瑞(ZHU, Rui); 中国广东省深圳市宝安区新安街道上合社区33区大宝路83号美生慧谷科技园秋谷8栋6楼, Guangdong 518000 (CN)。 朱健(ZHU, Jian); 中国广东省深圳市宝安区新安街道上合社区33区大宝路83号美生慧谷科技园秋谷8栋6楼, Guangdong 518000 (CN)。

(74) 代理人: 北京允天律师事务所(FAIRSKY LAW OFFICE); 中国北京市朝阳区建国门外大街22号赛特大厦18层, Beijing 100022 (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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT,

(54) **Title:** ATHERMALIZATION SUPER-LENS AND DESIGN METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 无热化超透镜及其设计方法

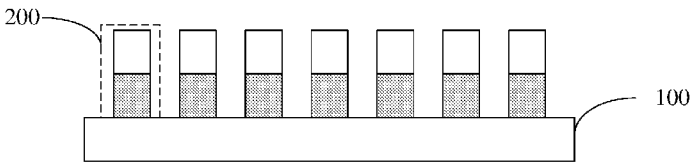


图 2

(57) **Abstract:** An athermalization super-lens and a design method therefor. The athermalization super-lens comprises a substrate (100), and nano-structures (200) which are periodically arranged on at least one side of the substrate (100), wherein a refractive index temperature coefficient of the nano-structure (200) is less than a reference refractive index temperature coefficient; or, the nano-structure (200) is formed by at least two materials, and a product of refractive index temperature coefficients of the at least two materials is less than zero. The athermalization super-lens can make an equivalent refractive index of a nano-structure be non-sensitive to temperature changes, thereby ameliorating a reduction in the imaging performance of a super-lens caused by a temperature drift.

(57) 摘要: 一种无热化超透镜及其设计方法。该无热化超透镜包括基底(100)和周期性排列在所述基底(100)至少一侧的纳米结构(200)；其中，所述纳米结构(200)的折射率温度系数小于参考折射率温度系数；或者，所述纳米结构(200)由至少两种材料构成，所述至少两种材料的折射率温度系数乘积小于零。该无热化超透镜能使纳米结构的等效折射率对温度变化不敏感，改善了温漂引起的超透镜成像性能降低。

WO 2023/160228 A1

[见续页]

BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, 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))。

无热化超透镜及其设计方法

技术领域

本申请涉及光学技术领域，具体而言，涉及一种无热化超透镜及其设计方法。

背景技术

通常，设计光学系统时，仅对 20℃的单一环境进行温度。但是，光学系统在较大温度范围内使用时，镜筒材料、光学材料的热胀冷缩以及光学材料的温度折射率系数会使镜头光焦度发生变化，出现离焦现象，导致成像质量变差。这种现象也称为温漂。能够克服温漂影响的透镜被称为无热化透镜。

相关技术中的通过不同折射率温度系数的光学材料之间的相互配合解决传统透镜的温漂问题。与传统透镜不同，超透镜是超表面技术的一种具体应用。超表面是一种亚波长厚度的人工层状材料，通过其上阵列排布的纳米结构对入射光的频率、幅度和相位进行调控。现有技术中还未出现解决超透镜温漂问题的方案，也就是说，现有技术中无热化透镜的设计仍是空白。

因此，随着超透镜技术的产业化，亟需一种无热化超透镜以改善温漂引起的超透镜成像性能降低。

发明内容

为解决现有技术不能改善温漂引起的超透镜成像性能降低的技术问题，填补无热化超透镜的空白，本申请实施例提供了一种无热化

超透镜及其设计方法。

第一方面，本申请实施例提供了一种无热化超透镜，包括基底和周期性排列在所述基底至少一侧的纳米结构；

其中，所述纳米结构的折射率温度系数小于参考折射率温度系数；或者，所述纳米结构由至少两种材料构成，所述至少两种材料的折射率温度系数乘积小于零。

可选地，所述参考折射率温度系数大于或等于 0.01×10^{-6}/K，且小于或等于 3000×10^{-6}/K。

可选地，当所述纳米结构由至少两种材料构成时，所述纳米结构沿其高度轴方向的材料不统一。

可选地，当所述纳米结构由至少两种材料构成时，所述纳米结构沿垂直于其高度轴方向的材料不统一。

可选地，所述基底对工作波段的消光系数小于 10^{-4}。

可选地，所述纳米结构对工作波段的消光系数小于 10^{-2}。

可选地，所述纳米结构以超结构单元的形式排列；

所述超结构单元为可密堆积图形，所述可密堆积图形的顶点和/或中心位置设置有所述纳米结构。

可选地，所述超透镜单元的形状包括正三角形、正方形、正六边形或扇形等形状中的一种或多种。

可选地，所述纳米结构为偏振相关结构。

可选地，所述纳米结构为偏振不敏感结构。

可选地，所述无热化超透镜还包括填充材料；

所述填充材料填充在所述纳米结构之间。

第二方面，本申请实施例还提供了一种无热化超透镜设计方法，上述任一实施例提供的方法设计，适用于上述任一实施例提供的无热化超透镜，包括：

步骤 S1，确定所述无热化超透镜的系统参数；

步骤 S2，基于所述系统参数，选用一种折射率温度系数小于参考折射率温度系数的材料或至少两种折射率温度系数乘积小于零的材料

设计所述纳米结构；

步骤 S3，对所述纳米结构进行温漂分析；

步骤 S4，若温漂分析结果不符合设计要求，则重复所述步骤 S2 至所述步骤 S3，直到所述纳米结构的温漂分析结果符合设计要求。

可选地，所述步骤 S2 中，选用至少两种折射率温度系数乘积小于零的材料设计所述纳米结构包括：

步骤 S201，计算不同温度下所述纳米结构的等效折射率；

步骤 S202，基于如下公式得出纳米结构中各材料的高度或厚度：

$$\begin{cases} h_1\frac{dn_1}{dT}+h_2\frac{dn_2}{dT}+\cdots+h_i\frac{dn_i}{dT}=0 \\ H=\sum h_i \end{cases}; \text{ 或}$$

$$\begin{cases} d_1\frac{dn_1}{dT}+d_2\frac{dn_2}{dT}+\cdots+d_n\frac{dn_n}{dT}=0 \\ D=\sum d_i \end{cases};$$

其中，dn_i/dT 为所述纳米结构中各材料的折射率温度系数；h_i 为所述纳米结构中各材料的高度，H 为所述纳米结构的高度；d_i 为所述纳米结构中各材料沿垂直于高度轴方向的厚度，D 为所述纳米结构中各材料的总厚度。

可选地，所述步骤 S3 中，对所述纳米结构进行温漂分析包括：

步骤 S301，根据折射率温度系数计算不同温度下纳米结构折射率、填充物折射率以及基底折射率；

步骤 S302，根据所述纳米结构折射率、所述填充物折射率以及所述基底折射率计算该无热化超透镜的等效折射率；

步骤 S303，根据等效折射率和所述纳米结构的高度计算所述无热化超透镜的相位响应；

步骤 S304，根据不同温度下的相位响应计算所述无热化超透镜的焦点偏移量。

可选地，所述步骤 S3 中，对所述纳米结构进行温漂分析包括：

步骤 S301，根据折射率温度系数计算不同温度下纳米结构折射率、填充物折射率以及基底折射率；

步骤 S302’，根据所述纳米结构折射率、所述填充物折射率以及

所述基底折射率通过数值仿真计算获得该无热化超透镜的相位响应；

步骤 S304，根据不同温度下的相位响应计算所述无热化超透镜的焦点偏移量。

本申请实施例提供的无热化超透镜及其设计方法，至少取得以下有益效果：

本申请实施例提供的无热化超透镜及其设计方法，通过使纳米结构折射率温度系数小于参考折射率温度系数，或通过至少两种折射率温度系数乘积小于零的材料组成纳米结构，从而使纳米结构的等效折射率对温度变化不敏感，改善了温漂引起的超透镜成像性能降低。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例或背景技术中的技术方案，下面将对本申请实施例或背景技术中所需要使用的附图进行说明。

图 1 示出了本申请实施例所提供的无热化超透镜的一种可选示意图；

图 2 示出了本申请实施例所提供的无热化超透镜的又一种可选示意图；

图 3 示出了本申请实施例所提供的无热化超透镜的一种可选纳米结构排布的示意图；

图 4 示出了本申请实施例所提供的无热化超透镜的又一种可选纳米结构排布的示意图；

图 5 示出了本申请实施例所提供的无热化超透镜的又一种可选纳米结构排布的示意图；

图 6 示出了本申请实施例所提供的纳米结构的一种可选示意图；

图 7 示出了本申请实施例所提供的纳米结构的又一种可选示意图；

图 8 示出了本申请实施例所提供的无热化超透镜设计方法的一种可选示意图；

图 9 示出了本申请实施例所提供的无热化超透镜设计方法的又一

种可选示意图；

图 10 示出了本申请实施例所提供的无热化超透镜设计方法的又一种可选示意图；

图 11 示出了本申请实施例所提供的无热化超透镜设计方法的又一种可选示意图；

图 12 示出了本申请实施例所提供的一种可选的无热化超透镜在不同温度下的相位差；

图 13 示出了本申请实施例所提供的又一种可选的无热化超透镜在不同温度下的相位差。

图中附图标记分别表示：

100-基底；200-纳米结构；300-超结构单元。

具体实施方式

为了便于理解本申请，下面将参照相关附图对本申请进行更全面的描述。附图中给出了本申请的首选实施例。但是，本申请可以以许多不同的形式来实现，并不限于本文所描述的实施例。相反地，提供这些实施例的目的是使对本申请的公开内容更加透彻全面。

需要说明的是，当一个元件被认为是“连接”另一个元件，它可以是直接连接到另一个元件并与之结合为一体，或者可能同时存在居中元件。本文所使用的术语“安装”、“一端”、“另一端”以及类似的表述只是为了说明的目的。

除非另有定义，本文所使用的所有的技术和科学术语与属于本申请的技术领域的技术人员通常理解的含义相同。本文中在本申请的说明书中所使用的术语只是为了描述具体的实施例的目的，不是旨在于限制本申请。本文所使用的术语“和／或”包括一个或多个相关的所列项目的任意的和所有的组合。

对于传统透镜，由于温度的变化，透镜的面型由于热胀冷缩发生变化，导致透镜发生离焦，从而使成像效果恶化。光学透镜的面型变化受到轴向温度梯度的影响。轴向温度梯度是指透镜的两个表面之间

的温度差。对于传统透镜，通常认为当透镜的轴向温度梯度小于 4℃时，透镜面型变化不会引起温漂。

对于超透镜，由于超透镜的厚度远小于传统透镜，其轴向温度梯度也远小于 4℃。因此，普遍认为超透镜面型变化产生的离焦不足以使其成像效果恶化。于是也产生了超透镜不需要无热化设计的技术偏见。

然而，当超透镜处于较大温度范围（例如-20℃~100℃）时，其温漂依然会影响成像质量。尤其是，将超透镜用于精密仪器时，温漂对成像效果的影响更为显著。例如，当超透镜与激光技术结合时，由于激光的功率远高于普通光束，所以超透镜在激光照射下，其轴向温度梯度显著增加，温漂现象更加明显。

此外，超透镜通过其上的纳米结构对入射光施加突变相位达到调控入射光的目的。而温度变化会对纳米结构的光学性能产生不利影响，从而降低超透镜的成像性能。

因此，亟需一种无热化超透镜，以克服超透镜的温漂对成像效果的影响。

本申请实施例提供了一种无热化超透镜，如图 1 至图 2 所示，该无热化超透镜包括基底 100 和周期性排列在基底 100 至少一侧的纳米结构 200。其中，纳米结构 200 的折射率温度系数小于参考折射率温度系数；或者，纳米结构 200 由至少两种材料构成，上述至少两种材料的折射率温度系数的乘积小于零。

需要说明的是，折射率温度系数（dn/dT）是指单位温度引起的折射指数变化。参考折射率温度系数由该无热化超透镜的工作温度范围确定。可选地，参考折射率温度系数大于或等于 0.01×10^{-6}/K，且小于或等于 3000×10^{-6}/K。

由于超透镜通过纳米结构对入射光进行调控，而温度变化会对纳米结构的光学性能产生影响。因此，本申请实施例提供的无热化超透镜，通过对纳米结构 200 的折射率温度系数进行调控，降低纳米结构 200 的光学性能受温度变化的影响。

具体而言，本申请实施例提供的无热化超透镜中，可选地，如图1所示，纳米结构200由单一材料构成。纳米结构200优选由一种折射率温度系数小于参考折射率温度系数的材料构成。更具体地，单一材质的纳米结构200，其相位随温度变化而产生的变化小于参考值。例如，纳米结构200的相位随温度变化而产生的变化小于5%。当单一材料构成的纳米结构200依然无法使该无热化超透镜满足在设计要求的大范围温度下的使用时，如图2所示，可以通过采用两种或两种以上材料组成纳米结构200。此类纳米结构200中，所有材料的折射率温度系数乘积小于零。通过对纳米结构200的等效折射率温度系数进行调控，使纳米结构200的等效折射率对温度不敏感。

进一步地，对于至少两种材料构成的纳米结构200，沿其高度轴方向的材料不统一。例如，纳米结构200由上下两段不同材料的结构组成。应理解，对于至少两种材料构成的纳米结构200，沿垂直于其高度轴方向的材料不统一。例如，纳米结构200为圆柱形结构，沿其直径方向，材料不统一。需注意，上述不统一是指沿指定方向纳米结构200由至少两种材料组成。更优选地，对于至少两种材料构成的纳米结构200，其整体折射率温度系数的绝对值小于参考折射率温度系数。

更进一步地，本申请实施例提供的基底100和纳米结构200在工作波段高透过率。可选地，基底100对工作波段的消光系数小于10^{-4}。可选地，纳米结构200对工作波段的消光系数小于10^{-2}。

本申请实施例可选的实施例中，如图3至图5所示，无热化超透镜中，纳米结构200以超结构单元300的形式排列，超结构单元300为可密堆积图形。该可密堆积图形的顶点和/或中心位置设置有纳米结构200。优选地，超结构单元300的形状包括正三角形、正方形、正六边形或扇形等形状中的一种或多种。

示例性地，如图6所示，纳米结构200可以是偏振相关结构，此类结构对入射光施加一个几何相位。如图7所示，纳米结构200也可以是偏振不敏感结构，此类结构对入射光施加一个传播相位。

在一些示例的实施方式中，本申请实施例提供的无热化超透镜还包括填充材料，该填充材料填充在各纳米结构 200 之间。填充材料包括空气或其他在工作波段高透过率的材料。可选地，填充材料对工作波段的消光系数小于 10^{-2}。优选地，填充材料的折射率和纳米结构 200 的等效折射率的差值的绝对值大于 0.5。

因此，本申请实施例提供的无热化超透镜通过对纳米结构折射率温度系数进行调控，从而使纳米结构的等效折射率对温度变化不敏感，改善了温漂引起的超透镜成像性能降低。

另一方面，如图 8 所示，本申请实施例还提供了一种无热化超透镜设计方法，适用于上述任一实施例提供的无热化超透镜。该方法包括：

步骤 S1，确定无热化超透镜的系统参数。该参数包括：工作温度阈值（低温阈值和高温阈值）、工作波段、视场角、焦距和口径等。

步骤 S2，基于系统参数，选用一种折射率温度系数小于参考折射率温度系数的材料或至少两种折射率温度系数乘积小于零的材料设计纳米结构 200。

步骤 S3，对纳米结构 200 进行温漂分析。

步骤 S4，若温漂分析结果不符合设计要求，则重复步骤 S2 至步骤 S3，直到纳米结构 200 的温漂分析结果符合设计要求。

本申请实施例中，如图 9 所示，步骤 S2 中，选用至少两种折射率温度系数乘积小于零的材料设计纳米结构 200 包括：

步骤 S201，计算不同温度下纳米结构 200 的等效折射率。该步骤是为了计算出 dn/dT 曲线。步骤 S202，基于如下公式（1）或公式（2）得出纳米结构中各材料的高度或厚度：

$$\begin{cases} h_1\frac{dn_1}{dT}+h_2\frac{dn_2}{dT}+\cdots+h_i\frac{dn_i}{dT}=0 \\ H=\sum h_i \end{cases} \quad (1);$$

$$\begin{cases} d_1\frac{dn_1}{dT}+d_2\frac{dn_2}{dT}+\cdots+d_n\frac{dn_n}{dT}=0 \\ D=\sum d_i \end{cases} \quad (2);$$

其中，dn_i/dT 为纳米结构 200 中各材料的折射率温度系数；h_i 为纳米结构 200 中各材料的高度，H 为纳米结构 200 的高度；d_i 为纳米结构 200 中各材料沿垂直于高度轴方向的厚度，D 为纳米结构 200 中各材料的总厚度。

在本申请可选的实施例中，如图 10 所示，步骤 S3 中，对纳米结构 200 进行温漂分析为通过理论模型分析，包括:

步骤 S301，根据折射率温度系数计算不同温度下纳米结构折射率 n（T）、填充物折射率 n_e（T）以及基底折射率 n_s（T）。

步骤 S302，根据纳米结构折射率、填充物折射率以及基底折射率计算该无热化超透镜的等效折射率 n_{eff}（T）。

步骤 S303，根据等效折射率 n_{eff}（T）和纳米结构 200 的高度计算该无热化超透镜的相位响应 $\varphi(T)$。

步骤 S304，根据不同温度下的相位响应 $\varphi(T)$计算该无热化超透镜的焦点偏移量。由于温漂现象的本质是焦点的偏移，故根据焦点偏移量可以定量分析温度对该无热化超透镜的影响。

在本申请又一些可选的实施例中，如图 11 所示，步骤 S3 中，对纳米结构 200 进行温漂分析为通过数值仿真分析，包括:

步骤 S301，根据折射率温度系数计算不同温度下纳米结构折射率 n（T）、填充物折射率 n_e（T）以及基底折射率 n_s（T）。

步骤 S302’，根据纳米结构折射率、填充物折射率以及基底折射率通过数值仿真计算获得该无热化超透镜的相位响应 $\varphi(T)$。

步骤 S304，根据不同温度下的相位响应 $\varphi(T)$计算该无热化超透镜的焦点偏移量。

上述温漂分析方法中，利用理论模型分析速度快，而利用数值仿真分析的速度虽然比利用理论模型慢，但是准确度更高。

实施例 1

示例性地，本申请实施例提供了一种无热化超透镜，包括石英基底和设置在其上的非晶硅纳米结构。该无热化超透镜的口径为 1mm，焦距为 2.5mm，工作波长为近红外 940mm。纳米结构的材质为非晶硅，高度为 500nm，以正六边形为超结构单元进行排列。正六边形的周期为 450nm，纳米结构位于正六边形的顶点位置。该无热化超透镜工作环境的低温阈值为-20℃，高温阈值为 100℃。

该无热化超透镜在 940nm 波段下的温漂分析如下。

由于工作波长为 940nm 时，非晶硅的折射率温度系数为 $3x10^{-4}$/K。故，纳米结构在-20℃和 100℃的折射率分别为 3.4927 与 3.5287。以 20℃为标准温度，通过理论模型分析可得该无热化超透镜在-20℃和 100℃的相位差分别为 1.83° 与 3.66°；使用数值仿真模型得-20℃和 100℃的相位差分别为 2.76° 与 1.54°，参考图 12。图 12 示出了该无热化超透镜中不同编号的纳米结构在不同温度下的相位响应。根据图 12 计算出该无热化超透镜在最低温度和最高温度之间的焦点漂移量小于等于 387nm，其最大焦点偏移量小于 500nm。

因此，实施例 1 中提供的无热化超透镜对温度不敏感。

实施例 2

示例性地，本申请实施例提供了又一种无热化超透镜，包括石英基底和设置在其上的纳米结构。该无热化超透镜的口径为 1mm，焦距为 2.5mm，工作波长为近红外 940mm。沿远离基底的方向纳米结构的材质依次为蓝宝石和氟化钡（参数见表 1）。根据公式（1）计算出纳米结构中氟化钡的高度为 715nm，蓝宝石的高度为 785nm。实施例 2 中纳米结构以正六边形为超结构单元进行排列。正六边形的周期为 550nm，纳米结构位于正六边形的顶点位置。该无热化超透镜工作环境的低温阈值为-20℃，高温阈值为 100℃。

该无热化超透镜在 940nm 波段下的温漂分析如下。

由于工作波长为 940nm 时，非晶硅的折射率温度系数为 $3x10^{-4}$/K。参见表 1，纳米结构中的氟化钡，其对 940nm 波段的折射率为 1.479；纳米结构的蓝宝石，其对 940nm 波段的折射率为 1.757。另外表 1 示

出了，氟化钡的折射率温度系数为-15/K，蓝宝石的折射率温度系数为-13.7/K。以 20℃为标准温度，图 13 示出了该无热化超透镜中不同编号的纳米结构在不同温度下的相位响应。如图 13 所示，实施例 2 中所有纳米结构在不同温度下的最大相位差仅为 0.6° 。根据图 13 计算出该无热化超透镜在最低温度和最高温度之间的焦点漂移量小于等于 56nm，其最大焦点偏移量远小于 500nm。

因此，实施例 2 中提供的无热化超透镜对温度不敏感。

表 1 氟化钡与蓝宝石参数表

	氟化钡	蓝宝石
折射率@940nm	1.479	1.757
折射率温度系数(/K)	-15	-13.7

综上所述，本申请实施例提供的无热化超透镜及其设计方法，通过对纳米结构折射率温度系数进行调控，从而使纳米结构的等效折射率对温度变化不敏感，改善了温漂引起的超透镜成像性能降低。

以上所述，仅为本申请实施例的具体实施方式，但本申请实施例的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请实施例披露的技术范围内，可轻易想到变化或替换，都应涵盖在本申请实施例的保护范围之内。因此，本申请实施例的保护范围应以权利要求的保护范围为准。

权利要求书

1、一种无热化超透镜，其特征在于，所述无热化超透镜包括基底（100）和周期性排列在所述基底（100）至少一侧的纳米结构（200）；

其中，所述纳米结构（200）的折射率温度系数小于参考折射率温度系数；或者，所述纳米结构（200）由至少两种材料构成，所述至少两种材料的折射率温度系数乘积小于零。

2、如权利要求 1 所述的无热化超透镜，其特征在于，所述参考折射率温度系数大于或等于 0.01×10^{-6}/K，且小于或等于 3000×10^{-6}/K。

3、如权利要求 1 所述的无热化超透镜，其特征在于，当所述纳米结构（200）由至少两种材料构成时，所述纳米结构（200）沿其高度轴方向的材料不统一。

4、如权利要求 1 所述的无热化超透镜，其特征在于，当所述纳米结构（200）由至少两种材料构成时，所述纳米结构（200）沿垂直于其高度轴方向的材料不统一。

5、如权利要求 1-4 任一所述的无热化超透镜，其特征在于，所述基底（100）对工作波段的消光系数小于 10^{-4}。

6、如权利要求 1-4 任一所述的无热化超透镜，其特征在于，所述纳米结构（200）对工作波段的消光系数小于 10^{-2}。

7、如权利要求 1-4 任一所述的无热化超透镜，其特征在于，所述纳米结构（200）以超结构单元（300）的形式排列；

所述超结构单元（300）为可密堆积图形，所述可密堆积图形的顶点和/或中心位置设置有所述纳米结构（200）。

8、如权利要求 7 所述的无热化超透镜，其特征在于，所述超透镜单元（300）的形状包括正三角形、正方形、正六边形或扇形等形状中的一种或多种。

9、如权利要求 1-4 任一所述的无热化超透镜，其特征在于，所述纳米结构（200）为偏振相关结构。

10、如权利要求 1-4 任一所述的无热化超透镜，其特征在于，所述纳米结构（200）为偏振不敏感结构。

11、如权利要求 1-4 任一所述的无热化超透镜，其特征在于，所述无热化超透镜还包括填充材料;

所述填充材料填充在所述纳米结构（200）之间。

12、一种无热化超透镜设计方法，其特征在于，适用于如权利要求 1-11 任一所述的无热化超透镜，所述方法包括:

步骤 S1，确定所述无热化超透镜的系统参数;

步骤 S2，基于所述系统参数，选用一种折射率温度系数小于参考折射率温度系数的材料或至少两种折射率温度系数乘积小于零的材料设计所述纳米结构（200）;

步骤 S3，对所述纳米结构（200）进行温漂分析;

步骤 S4，若温漂分析结果不符合设计要求，则重复所述步骤 S2 至所述步骤 S3，直到所述纳米结构（200）的温漂分析结果符合设计要求。

13、如权利要求 12 所述的无热化超透镜设计方法，其特征在于，所述步骤 S2 中，选用至少两种折射率温度系数乘积小于零的材料设计所述纳米结构（200）包括:

步骤 S201，计算不同温度下所述纳米结构（200）的等效折射率；

步骤 S202，基于如下公式得出纳米结构的高度或厚度：

$$\begin{cases} h_1\frac{dn_1}{dT}+h_2\frac{dn_2}{dT}+\cdots+h_i\frac{dn_i}{dT}=0 \\ H=\sum h_i \end{cases}; \text{ 或}$$

$$\begin{cases} d_1\frac{dn_1}{dT}+d_2\frac{dn_2}{dT}+\cdots+d_n\frac{dn_n}{dT}=0 \\ D=\sum d_i \end{cases};$$

其中，dn_i/dT 为所述纳米结构（200）中各材料的折射率温度系数；h_i 为所述纳米结构（200）中各材料的高度，H 为所述纳米结构（200）的高度；d_i 为所述纳米结构（200）中各材料沿垂直于高度轴方向的厚度，D 为所述纳米结构（200）中各材料的总厚度。

14、如权利要求 12 所述的无热化超透镜设计方法，其特征在于，所述步骤 S3 中，对所述纳米结构（200）进行温漂分析包括：

步骤 S301，根据折射率温度系数计算不同温度下纳米结构折射率、填充物折射率以及基底折射率；

步骤 S302，根据所述纳米结构折射率、所述填充物折射率以及所述基底折射率计算该无热化超透镜的等效折射率；

步骤 S303，根据等效折射率和所述纳米结构（200）的高度计算所述无热化超透镜的相位响应；

步骤 S304，根据不同温度下的相位响应计算所述无热化超透镜的焦点偏移量。

15、如权利要求 12 所述的无热化超透镜设计方法，其特征在于，所述步骤 S3 中，对所述纳米结构（200）进行温漂分析包括：

步骤 S301，根据折射率温度系数计算不同温度下纳米结构折射率、填充物折射率以及基底折射率；

步骤 S302'，根据所述纳米结构折射率、所述填充物折射率以及所述基底折射率通过数值仿真计算获得该无热化超透镜的相位响应；

步骤 S304，根据不同温度下的相位响应计算所述无热化超透镜的焦点偏移量。

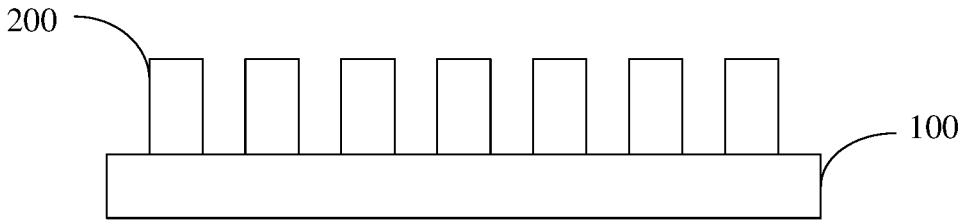


图 1

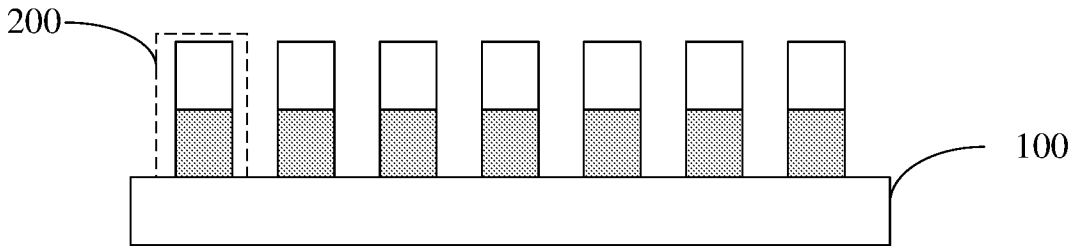


图 2

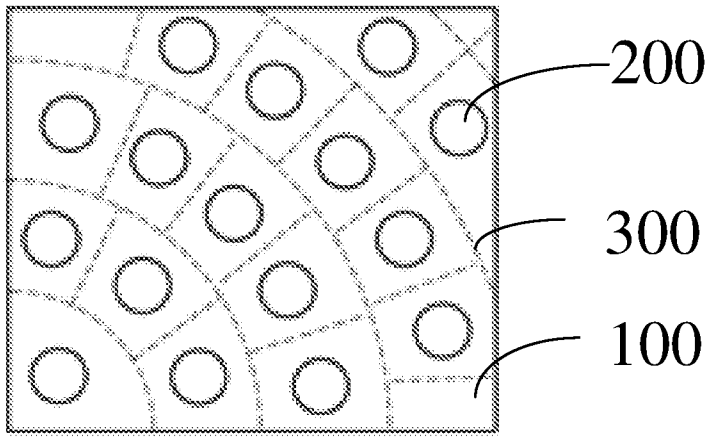


图 3

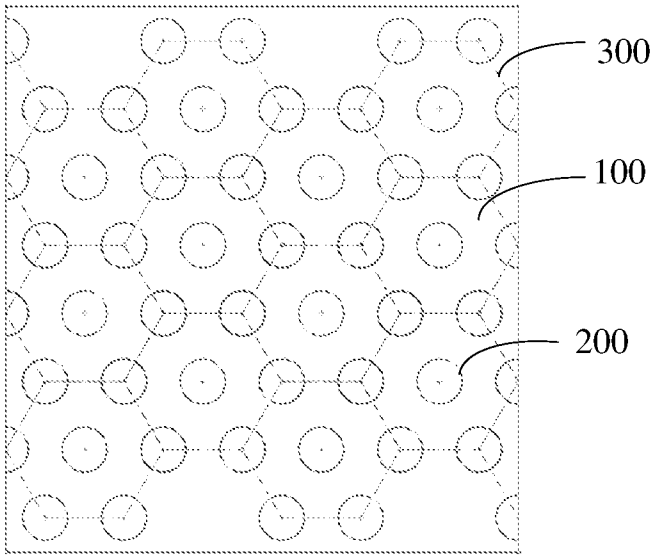


图 4

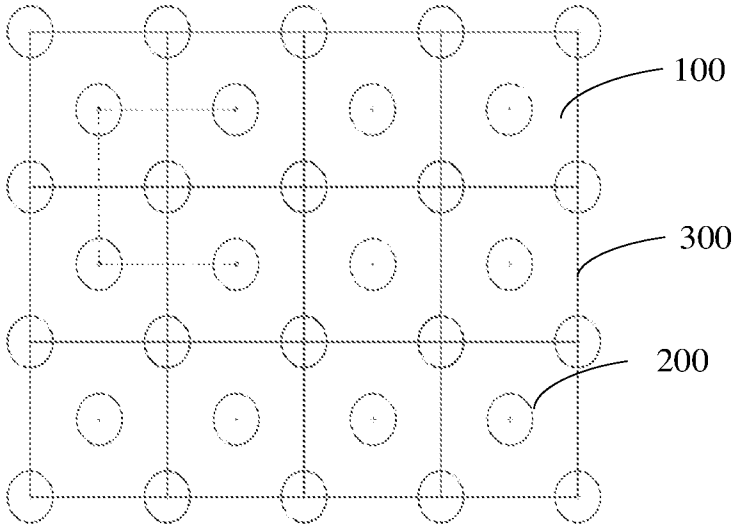


图 5

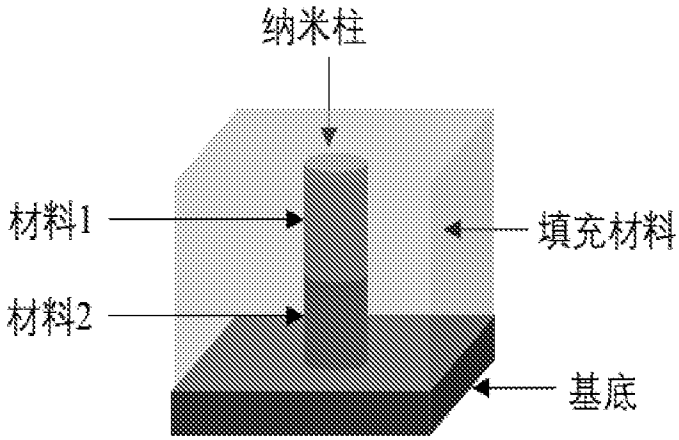


图 6

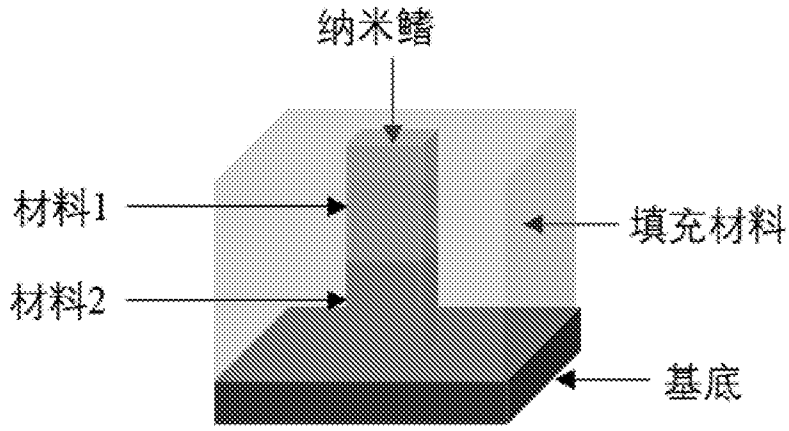

纳米鳍
材料1
材料2
填充材料
基底

图 7

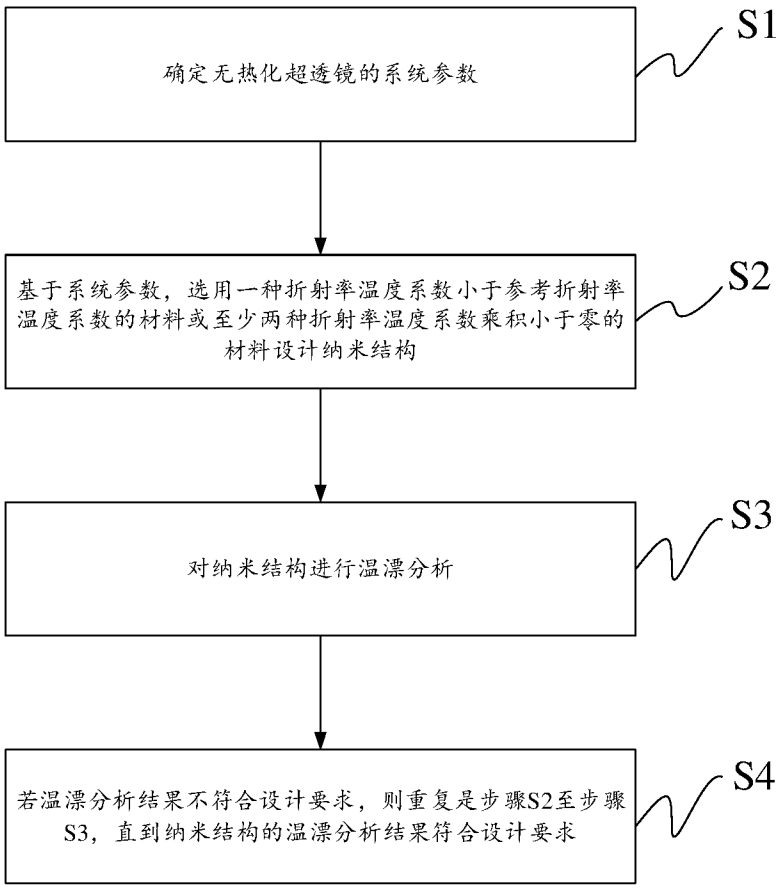

确定无热化超透镜的系统参数
S1
基于系统参数，选用一种折射率温度系数小于参考折射率温度系数的材料或至少两种折射率温度系数乘积小于零的材料设计纳米结构
S2
对纳米结构进行温漂分析
S3
若温漂分析结果不符合设计要求，则重复是步骤S2至步骤S3，直到纳米结构的温漂分析结果符合设计要求
S4

图 8

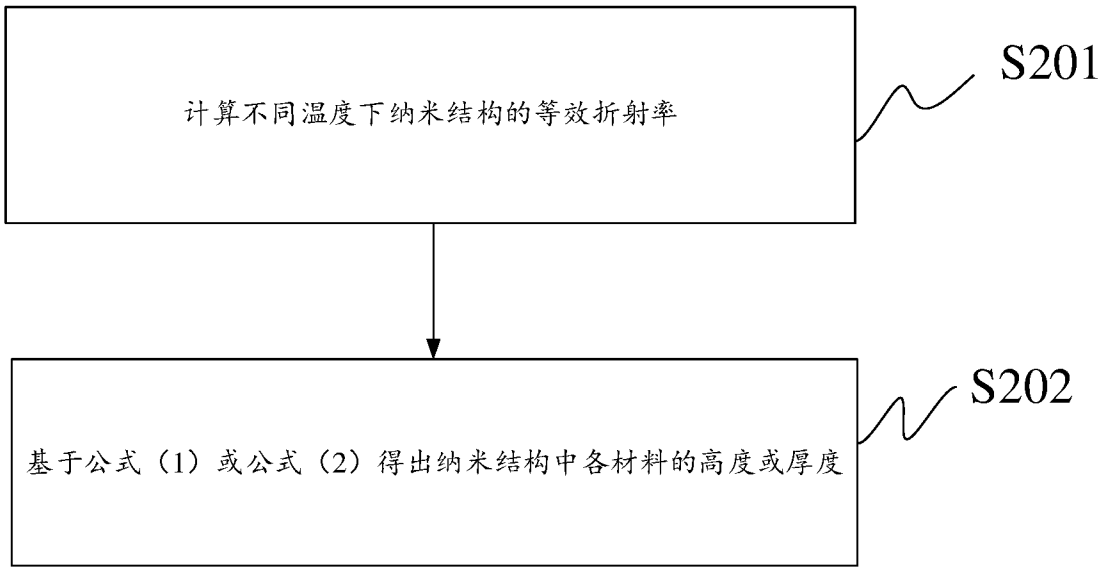

计算不同温度下纳米结构的等效折射率
S201
基于公式（1）或公式（2）得出纳米结构中各材料的高度或厚度
S202

图 9

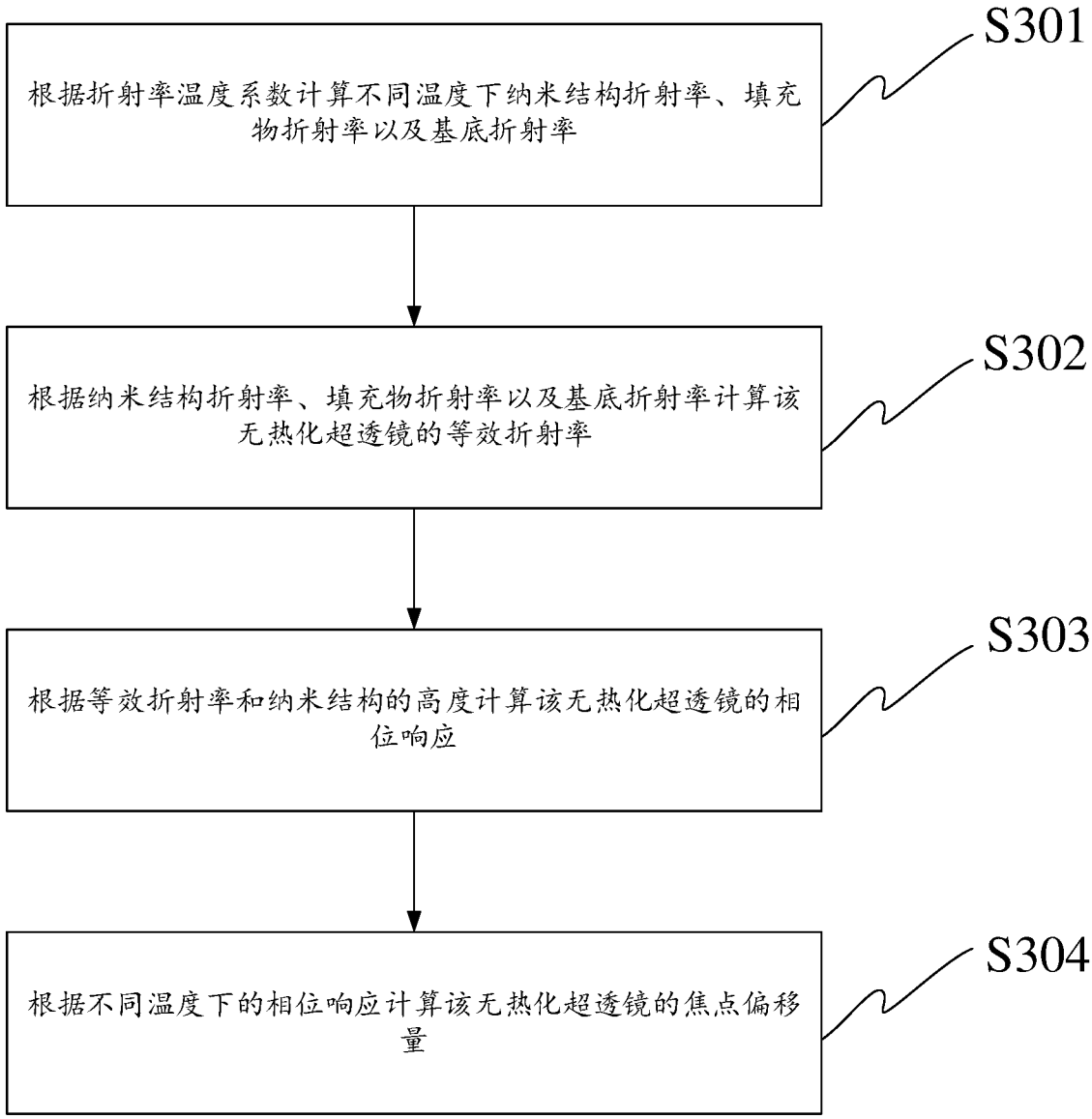

根据折射率温度系数计算不同温度下纳米结构折射率、填充物折射率以及基底折射率
S301
根据纳米结构折射率、填充物折射率以及基底折射率计算该无热化超透镜的等效折射率
S302
根据等效折射率和纳米结构的高度计算该无热化超透镜的相位响应
S303
根据不同温度下的相位响应计算该无热化超透镜的焦点偏移量
S304

图 10

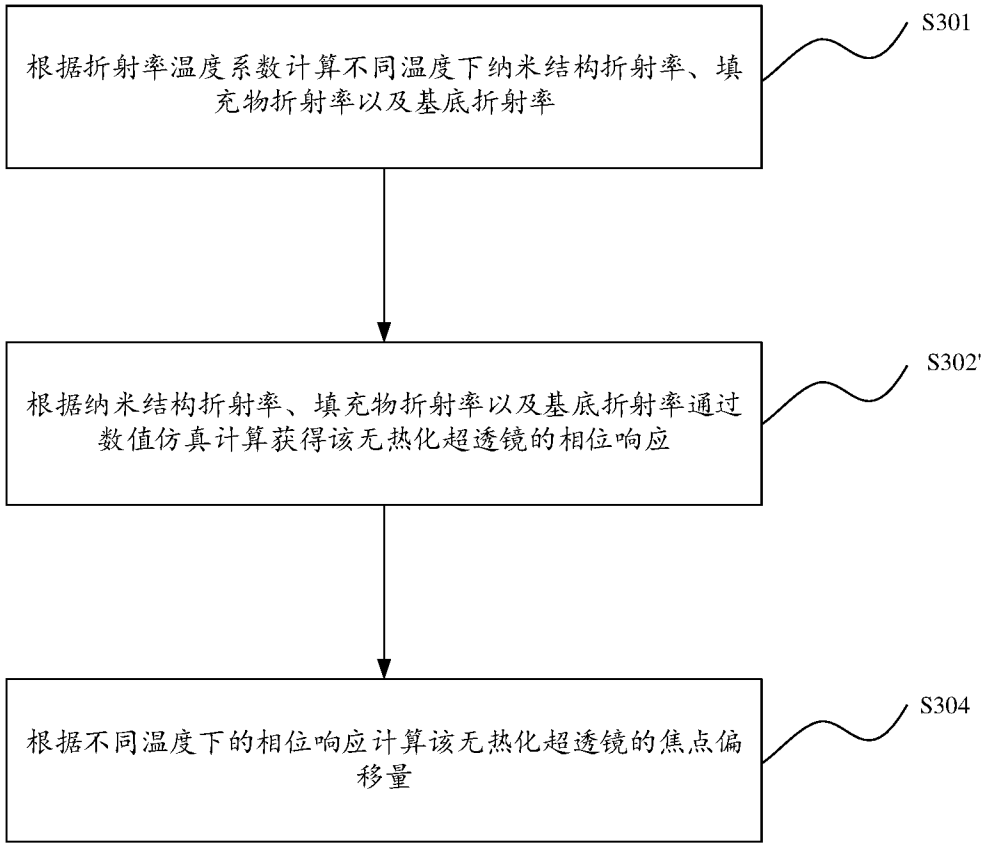

根据折射率温度系数计算不同温度下纳米结构折射率、填充物折射率以及基底折射率
S301
根据纳米结构折射率、填充物折射率以及基底折射率通过数值仿真计算获得该无热化超透镜的相位响应
S302'
根据不同温度下的相位响应计算该无热化超透镜的焦点偏移量
S304

图 11

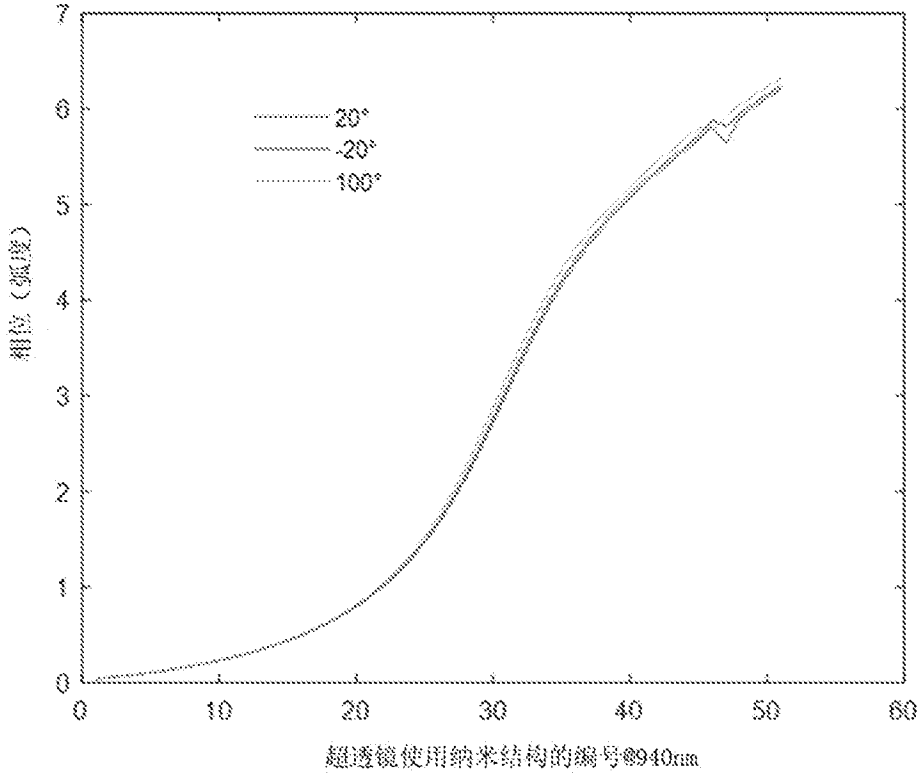

20°
-20°
100°
相位（弧度）
超透镜使用纳米结构的编号@940nm

图 12

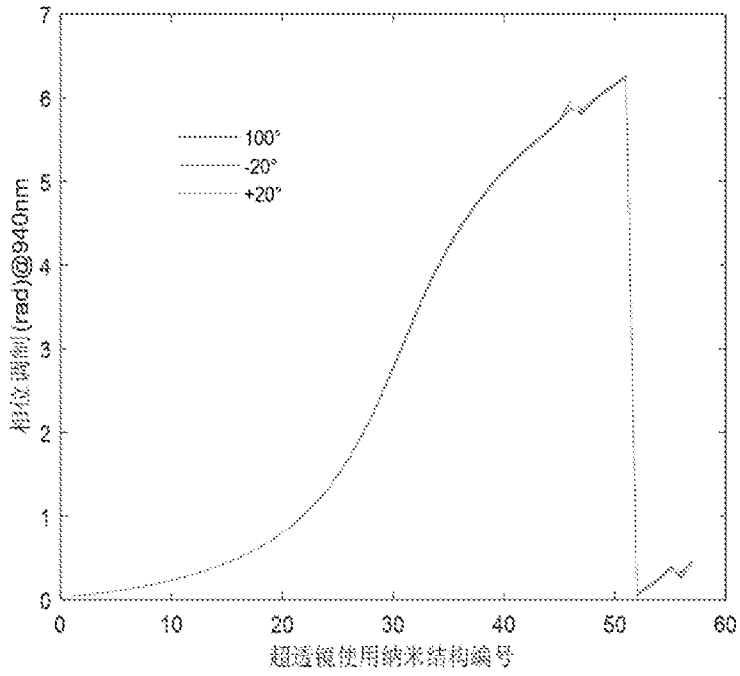

100°
-20°
+20°
相位调制(rad)@940nm
超透镜使用纳米结构编号

图 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2022/143174

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B1/00(2006.01)i;G02B27/00(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)

IPC: G02B

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)

CNTXT, ENTXTC, ENTXT, CNKI, WFNPL: 补偿, 不敏感, 材料, 参数, 超表面, 超结构, 超透镜, 等效折射率, 堆积, 分析, 光学材料, 光学件, 光学系统, 郝成龙, 结构, 冷, 离焦, 迈塔兰斯科技, 密, 纳米, 飘移, 漂移, 去敏感, 热, 深圳迈塔兰斯, 谭凤泽, 透镜, 脱敏, 位相, 温度, 温飘, 温漂, 无热化, 物质, 系数, 相位, 亚波长, 折射率, 指数, 朱健, 朱瑞, nm

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 113917578 A (SHENZHEN METALENX TECHNOLOGY CO., LTD.) 11 January 2022 (2022-01-11) description, paragraphs 36, 86-87, 93, 102-104, and 109, and figures 1-3	1-15
Y	CN 112147756 A (HUAWEI TECHNOLOGIES CO., LTD.) 29 December 2020 (2020-12-29) description, paragraphs 6-7	1-15
Y	CN 111239970 A (TIANJIN OFILM OPTOELECTRONICS CO., LTD.) 05 June 2020 (2020-06-05) description, paragraphs 1-257, and figures 1-23	1-15
Y	CN 210572970 U (HEBEI HANGUANG INDUSTRY LTD.) 19 May 2020 (2020-05-19) description, paragraphs 1-42, and figures 1-4	1-15
Y	US 2013342921 A1 (SUNNE, W. L.; HANSON, J. A.; FEST, E. C.; R, R. L.; RAYTHEON COMPANY) 26 December 2013 (2013-12-26) description, paragraphs 1-57, and figures 1-10	1-15

☑ 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
"D" document cited by the applicant in the international application
"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
20 March 2023	**21 March 2023**

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 114397718 A (SHENZHEN METALENX TECHNOLOGY CO., LTD.) 26 April 2022 (2022-04-26) claims 1-15	1-15
A	CN 113885106 A (SHENZHEN METALENX TECHNOLOGY CO., LTD.) 04 January 2022 (2022-01-04) entire document	1-15

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2022/143174

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN 113917578 A	11 January 2022	WO 2022007738 A1	13 January 2022
CN 112147756 A	29 December 2020	CN 112147755 B	14 January 2022
		WO 2020259696 A1	23 October 2020
		EP 3964874 A1	09 March 2022
		CN 114355563 A	15 April 2022
		EP 3964874 A4	13 July 2022
CN 111239970 A	05 June 2020	None	
CN 210572970 U	19 May 2020	None	
US 2013342921 A1	26 December 2013	US 9709699 B2	18 July 2017
CN 114397718 A	26 April 2022	None	
CN 113885106 A	04 January 2022	None	

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2022/143174

A. 主题的分类

G02B1/00(2006.01)i;G02B27/00(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)

IPC: G02B

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））

CNTXT,ENTXTC,ENTXT,CNKI,WFNPL:补偿,不敏感,材料,参数,超表面,超结构,超透镜,等效折射率,堆积,分析,光学材料,光学件,光学系统,郝成龙,结构,冷,离焦,迈塔兰斯科技,密,纳米,飘移,漂移,去敏感,热,深圳迈塔兰斯,谭凤泽,透镜,脱敏,位相,温度,温飘,温漂,无热化,物质,系数,相位,亚波长,折射率,指数,朱健,朱瑞,nm

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
Y	CN 113917578 A (深圳迈塔兰斯科技有限公司) 2022年1月11日 (2022-01-11) 说明书第36,86-87,93,102-104,109段，图1-3	1-15
Y	CN 112147756 A (华为技术有限公司) 2020年12月29日 (2020-12-29) 说明书第6-7段	1-15
Y	CN 111239970 A (天津欧菲光电有限公司) 2020年6月5日 (2020-06-05) 说明书第1-257段，图1-23	1-15
Y	CN 210572970 U (河北汉光重工有限责任公司) 2020年5月19日 (2020-05-19) 说明书第1-42段，图1-4	1-15
Y	US 2013342921 A1 (SUNNE WAYNE L;HANSON JACOB A;FEST ERIC C;RONCONE RONALD L;RAYTHEON CO;) 2013年12月26日 (2013-12-26) 说明书第1-57段，图1-10	1-15
PX	CN 114397718 A (深圳迈塔兰斯科技有限公司) 2022年4月26日 (2022-04-26) 权利要求1-15	1-15

☑ 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

"D" 申请人在国际申请中引证的文件

"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
2023年3月20日	2023年3月21日

ISA/CN的名称和邮寄地址	受权官员
中国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088	任志伟
传真号 (86-10)62019451	电话号码 (+86) 010-62085590

国际检索报告

国际申请号
PCT/CN2022/143174

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
A	CN 113885106 A (深圳迈塔兰斯科技有限公司) 2022年1月4日 (2022 - 01 - 04) 全文	1-15

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2022/143174

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	113917578	A	2022年1月11日	WO	2022007738	A1	2022年1月13日
CN	112147756	A	2020年12月29日	CN	112147755	B	2022年1月14日
				WO	2020259696	A1	2020年10月23日
				EP	3964874	A1	2022年3月9日
				CN	114355563	A	2022年4月15日
				EP	3964874	A4	2022年7月13日
CN	111239970	A	2020年6月5日		无		
CN	210572970	U	2020年5月19日		无		
US	2013342921	A1	2013年12月26日	US	9709699	B2	2017年7月18日
CN	114397718	A	2022年4月26日		无		
CN	113885106	A	2022年1月4日		无		