



## (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 113158457 A

(43) 申请公布日 2021.07.23

(21) 申请号 202110411063.6

(22) 申请日 2021.04.16

(71) 申请人 太原理工大学

地址 030024 山西省太原市迎泽西大街79号

(72) 发明人 孙非 陈汉川 刘一超 陈智辉  
刘毅彪

(74) 专利代理机构 太原晋科知识产权代理事务所(特殊普通合伙) 14110

代理人 王军

(51) Int.Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

G16C 60/00 (2019.01)

G06F 119/08 (2020.01)

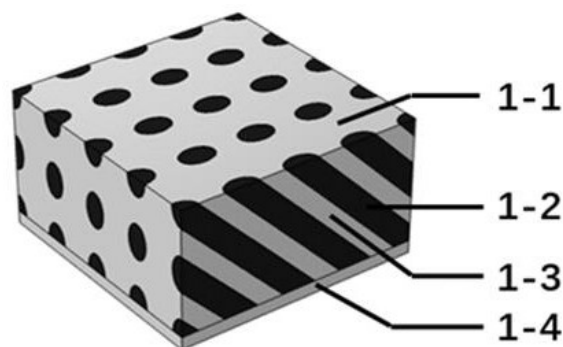
权利要求书1页 说明书5页 附图5页

(54) 发明名称

一种热欺骗方法和热欺骗结构

(57) 摘要

本发明公开了一种热欺骗方法和热欺骗结构,在热源(物体)所在的实际物平面上方引入按照特定规则分布的高热导率材料和低热导率材料组成的定向导热结构,定向导热结构可以对实际物平面上热源产生的热流进行定向引导,从而在定向导热结构的出射面(即观测像平面)产生特殊的热幻象。和实际热源相比,热幻象的数量、位置、大小和形状等特征均可通过设计定向导热结构导热方向进行调控,进而可达到预先设计的热欺骗效果。



1. 一种热欺骗方法,其特征在于,包括步骤:

在热源所在的实际物平面上方,引入按照特定规则分布的高热导率材料和低热导率材料组成的定向导热结构;

通过定向导热结构对实际物平面上热源产生的热流进行定向引导,通过对引导方向的设计,在定向导热结构的观测像平面产生热源的数量、位置、大小和形状等特征发生变化的热幻象。

2. 根据权利要求1所述的热欺骗方法,其特征在于,所述定向导热结构的特定分布规则是将取向相同的杆状高热导率材料嵌入在低热导率材料背景中实现,所述定向导热结构对热流定向引导的方向与杆状高热导率材料阵列的取向方向相同。

3. 根据权利要求1所述的热欺骗方法,其特征在于,所述高热导率材料的热导率与所述低热导率材料的热导率相差越大,热欺骗效果越好。

4. 根据权利要求3所述的热欺骗方法,其特征在于,选择高热导率材料的热导率是低热导率材料的热导率的100倍及以上;其中,高热导率材料选为铜,热导率为 $400\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ;低热导率材料选为聚苯乙烯,热导率为 $0.03\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

5. 根据权利要求1所述的热欺骗方法,其特征在于,所述高热导率材料和低热导率材料的分布方式根据预期实现的热欺骗效果来设计,设计方法包括步骤:

确定需要产生的高温热源幻象的数量、大小、位置和形状,对定向导热结构划分为不同区域;

通过设计高、低热导率材料在不同区域的排布方式,进而实现不同的热欺骗效果;

其中,热欺骗结构的几何形状、高低热导率材料的排列方式根据产生不同的热幻象效果和不同场合的需要而有所改变。

6. 一种通过热欺骗方法制备的热欺骗结构,通过如权利要求1-5任一所述的热欺骗方法进行制备,其特征在于,包括:实际热源所在的实际物平面、按照特定规则分布的高热导率材料和低热导率材料组成的定向导热结构、定向导热结构顶面为观测像平面;其中,所述热欺骗结构用于将实际热源产生的温度场分布从实际物平面沿着高热导率杆阵列方向投影到观测像平面,进而在观测像平面产生热源发生平移、分裂、形变的热幻象。

7. 根据权利要求6所述的热欺骗结构,其特征在于,按照特定规则分布的高热导率材料和低热导率材料组成定向导热结构分为分裂层和形变层;其中,分裂层和形变层按照高热导率杆的取向方向需分别设计;分裂层用于调控热幻象的数目和位置,形变层用于调控热幻象的大小和形状。

## 一种热欺骗方法和热欺骗结构

### 技术领域

[0001] 本发明属于新型热欺骗技术,尤其涉及一种热欺骗方法和热欺骗结构。

### 背景技术

[0002] 热欺骗(Thermal Camouflage)是随着热学超材料(Thermal metamaterials)和变换热学(Transformation Thermodynamics)的发展提出的一种新型热学幻象器件。当热流在各向同性的均匀导热材料平面上传导时,热流沿着各个方向的热扩散速率相同,达到热平衡后温度场的分布也是均匀的。然而,如果在导热平面上存在一些其他热导率不同的物体时,达到热平衡后的温度场分布将不再均匀,此时外界观察者将通过温度场分布“感知”到在导热平面上存在其他物体。要实现热欺骗可以在热源(物体)所在的实际物平面上方加入热导率特殊分布的热欺骗结构,使得在热欺骗结构的出射面(即观测像平面)的温度场按照预先设计的方式重新分布,导致外界观察者通过温度场分布“感知”到的并非实际物平面上的原物体。热欺骗结构可实现以下功能:观测像平面的温度场分布对应的热幻象物体相对于实际物平面上的原物体在形状、大小、数量、位置上发生变化。

[0003] 近几年,实验实现的热欺骗结构,主要是基于变换热学设计的特殊热导率分布结构,如文献Han T , Bai X , Thong J T L , et al. Full Control and Manipulation of Heat Signatures: Cloaking, Camouflage and Thermal Metamaterials [J]. Advanced Materials, 2014, 26(11):1731-4.和文献Hu R , Zhou S , Li Y , et al. Illusion Thermotics [J]. Advanced Materials, 2018, 30(22):1707237.1-1707237.8。前一种方法是先利用热隐身结构将实际热源隐藏,再使用预先设计的“诱饵物体”来产生热幻象源,进而达到热欺骗的效果。后一种方法则不使用热隐身结构,直接产生热幻象源来实现热欺骗。然而,目前实现热欺骗结构的设计方法都非常复杂,首先需要借助于坐标变换和张量运算来设计各向异性的非均匀热导率分布,然后再通过设计热学超材料来实现上述热导率分布。除此之外,当热欺骗结构的功能、形状、尺寸发生改变后,基于变换热学设计的热欺骗结构所需材料参数也相应发生改变。

### 发明内容

[0004] 为了解决现有热欺骗结构设计过程复杂、所需材料复杂、实现不同热欺骗效果所需材料参数不同的局限性,本发明提供一种设计简单、实现不同热欺骗效果都只需要同样两种自然界中存在的材料的新型热欺骗方法和结构。

[0005] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:构造一种热欺骗方法,包括:

在热源所在的实际物平面上方,引入按照特定规则分布的高热导率材料和低热导率材料组成的定向导热结构;

通过定向导热结构对实际物平面上热源产生的热流进行定向引导,通过对引导方向的设计,在定向导热结构的观测像平面产生热源的数量、位置、大小和形状等特征发生变化的热幻象。

[0006] 其中,定向导热结构的特定分布规则是将取向相同的杆状高热导率材料嵌入在低热导率材料背景中实现,所述定向导热结构对热流定向引导的方向与杆状高热导率材料阵列的取向方向相同。

[0007] 其中,高热导率材料的热导率与所述低热导率材料的热导率相差越大,热欺骗效果越好。

[0008] 其中,选择高热导率材料的热导率是低热导率材料的热导率的100倍及以上;其中,高热导率材料选为铜,热导率为 $400\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ;低热导率材料选为聚苯乙烯,热导率为 $0.03\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

[0009] 其中,高热导率材料和低热导率材料的分布方式根据预期实现的热欺骗效果来设计,设计方法包括步骤:

确定需要产生的高温热源幻象的数量、大小、位置和形状,对定向导热结构划分为不同区域;

通过设计高、低热导率材料在不同区域的排布方式,进而实现不同的热欺骗效果;

其中,热欺骗结构的几何形状、高低热导率材料的排列方式根据产生不同的热幻象效果和不同场合的需要而有所改变。

[0010] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:构造一种通过热欺骗方法制备的热欺骗结构,使用如前述技术方案所述的热欺骗方法进行制备,包括:

实际热源所在的实际物平面、按照特定规则分布的高热导率材料和低热导率材料组成的定向导热结构、定向导热结构顶面为观测像平面;其中,所述热欺骗结构用于将实际热源产生的温度场分布从实际物平面沿着高热导率杆阵列方向投影到观测像平面,进而在观测像平面产生热源发生平移、分裂、形变的热幻象。

[0011] 其中,按照特定规则分布的高热导率材料和低热导率材料组成定向导热结构分为分裂层和形变层;其中,分裂层和形变层按照高热导率杆的取向方向需分别设计;分裂层用于调控热幻象的数目和位置,形变层用于调控热幻象的大小和形状。

[0012] 本发明与现有技术相比,本发明的热欺骗方法和热欺骗结构设计过程简单,使用无需数学运算的图解设计法,仅需对定向导热结构中高低热导率材料的排列方式设计;容易实现,仅需要借助于两种热导率相差较大的均匀各向同性材料按照特定规则分布即可实现,无需各向异性、非均匀热导率材料;本发明可同时实现对热源的数量、位置、大小和形状改变的热欺骗效果;还可用于设计定向导热结构。

## 附图说明

[0013] 下面将结合附图及实施例对本发明作进一步说明,附图中:

图1是本发明提供一种热欺骗方法构建的第一热欺骗结构的结构示意图。

[0014] 图2是本发明提供一种热欺骗方法构建的第一热欺骗结构对应的热欺骗结构效果的热源所在实际物平面的温度场分布数值模拟结果示意图。

[0015] 图3是本发明提供一种热欺骗方法构建的第一热欺骗结构对应的热欺骗结构效果的观测像平面的温度场分布数值模拟结果示意图。

[0016] 图4是本发明提供一种热欺骗方法构建的第二热欺骗结构的结构示意图。

[0017] 图5是本发明提供一种热欺骗方法构建的第二热欺骗结构对应的热欺骗结构效

果的热源所在实际物平面的温度场分布数值模拟结果示意图。

[0018] 图6是本发明提供了一种热欺骗方法构建的第二热欺骗结构对应的热欺骗结构效果的观测像平面的温度场分布数值模拟结果示意图。

[0019] 图7是本发明提供了一种热欺骗方法构建的第三热欺骗结构的结构示意图。

[0020] 图8是本发明提供了一种热欺骗方法构建的第三热欺骗结构对应的热欺骗结构效果的热源所在实际物平面的温度场分布数值模拟结果示意图。

[0021] 图9是本发明提供了一种热欺骗方法构建的第三热欺骗结构对应的热欺骗结构效果的观测像平面的温度场分布数值模拟结果示意图。

[0022] 图10是本发明提供了一种热欺骗方法中未使用热欺骗的应用效果示意图。

[0023] 图11是本发明提供了一种热欺骗方法中使用热欺骗的应用效果示意图。

### 具体实施方式

[0024] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明做进一步的详细说明。应当理解,此外所描述的具体实施例仅用以解释本发明,但并不用于限定本发明。基于本发明中的实施例,本领域普通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,都将属于本发明保护的范围。

[0025] 参照附图1,本发明提供一种热欺骗方法,包括:

在热源所在的实际物平面上方,引入按照特定规则分布的高热导率材料和低热导率材料组成的定向导热结构;

通过定向导热结构对实际物平面上热源产生的热流进行定向引导,通过对引导方向的设计,在定向导热结构的观测像平面产生热源的数量、位置、大小和形状等特征发生变化的热幻象。

[0026] 其中,定向导热结构的特定分布规则是将取向相同的杆状高热导率材料嵌入在低热导率材料背景中实现,所述定向导热结构对热流定向引导的方向与杆状高热导率材料阵列的取向方向相同。

[0027] 其中,高热导率材料的热导率与所述低热导率材料的热导率相差越大,热欺骗效果越好;

其中,选择高热导率材料的热导率是低热导率材料的热导率的100倍及以上;高热导率材料选为铜,热导率为 $400\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ;低热导率材料选为聚苯乙烯,热导率为 $0.03\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ 。

[0028] 其中,高热导率材料和低热导率材料的分布方式根据预期实现的热欺骗效果来设计,设计方法包括步骤:

确定需要产生的高温热源幻象的数量、大小、位置和形状,对定向导热结构划分为不同区域;

通过设计高、低热导率材料在不同区域的排布方式,进而实现不同的热欺骗效果;

其中,热欺骗结构的几何形状、高低热导率材料的排列方式根据产生不同的热幻象效果和不同场合的需要而有所改变。

[0029] 图1是一种根据本发明方法设计的一种用于实现热源平移幻象的热欺骗结构示意图。其中1-1对应观测像平面,1-2对应高热导率材料,1-3对应低热导率材料,1-4对应实际

热源所在的物平面。图2-图3是图1对应的热欺骗结构效果的数值模拟结果,模拟中设定:实际热源所在实际物平面材料及定向导热结构中低热导率背景材料为聚苯乙烯(热导率为 $0.03\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ),定向导热结构中杆状高热导率材料为铜(热导率为 $400\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ),杆直径 $2\text{mm}$ ,杆排列方向与三个坐标轴夹角均成 $45^\circ$ 且每两杆中心相距 $5\text{mm}$ ,热源位于实际物平面中心,形状为正方体(尺寸为 $1\text{cm}\times 1\text{cm}\times 1\text{cm}$ ),实际热源温度设置为 $393\text{K}$ ,环境温度设置为 $293\text{K}$ 。模拟中整个热欺骗结构的尺寸设置为 $10\text{cm}\times 20\text{cm}\times 20\text{cm}$ 。图2对应实际物平面1-4的温度场分布,图3对应观测像平面1-1的温度场分布,对比两图可以看出位于实际物平面(图2)中心位置的热源平移到了观测像平面(图3)的左上角。

[0030] 图4是另一种根据本发明方法设计的一种用于产生增加热源数量并同时改变热源位置的热幻象的热欺骗结构示意图。其中3-1对应观测像平面,3-2对应高热导率材料,3-3对应低热导率材料,3-4对应实际热源所在的实际物平面。图5-图6是图4对应的热欺骗结构效果的数值模拟结果,模拟中设定:实际热源所在实际物平面材料及定向导热结构中低热导率背景材料为聚苯乙烯(热导率为 $0.03\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ),定向导热结构从中心位置分成左右两个区域,左侧区域中杆状高热导率材料为铜(热导率为 $400\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ),杆直径 $2\text{mm}$ ,杆排列方向与 $z$ 轴夹角为 $-37^\circ$ 且每两杆中心相距 $5\text{mm}$ ;右侧区域为中杆状高热导率材料为铜(热导率为 $400\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ),杆直径 $2\text{mm}$ ,杆排列方向与 $z$ 轴夹角为 $37^\circ$ 且每两杆中心相距 $5\text{mm}$ 。热源位于实际物平面中心,形状为正方体(尺寸为 $1\text{cm}\times 1\text{cm}\times 1\text{cm}$ ),实际热源温度设置为 $393\text{K}$ ,环境温度设置为 $293\text{K}$ 。模拟中整个热欺骗结构的尺寸设置为 $10\text{cm}\times 20\text{cm}\times 20\text{cm}$ 。图5画出了实际物平面3-4的温度场分布,图6给出观测像平面3-1的温度场分布,对比两图可以看出位于实际物平面(图5)中心位置的热源分裂为两个分别平移至观测像平面(图6)两侧的热幻象源。

[0031] 图7是另一种根据本发明方法设计的一种用于产生同时改变热源的形状、数量、大小和位置的幻象的热欺骗结构示意图。其中5-1对应观测像平面,5-2、5-3、5-4共同组成定向导热结构,5-5对应实际热源,5-6对应实际热源所在的物平面。图8和图9是图7对应的热欺骗结构效果的数值模拟结果,模拟中设定:实际热源所在实际物平面材料及定向导热结构中低热导率背景材料为聚苯乙烯(热导率为 $0.03\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ),高热导率材料均选择为铜(热导率为 $400\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ ),定向导热结构分成5-2、5-3、5-4三部分,5-2部分从整个定向导热结构的中心位置分成四个区域,每个区域均为聚苯乙烯背景下镶嵌沿以各自中心位置为圆心铜环,铜环直径 $2\text{mm}$ ,相邻两环半径相距 $5\text{mm}$ ;5-3部分从整个定向导热结构的中心位置分成四个区域,每个区域均为聚苯乙烯与铜圆锥面薄层嵌套,薄层底部厚度 $2\text{mm}$ ;5-4部分同样从整个定向导热结构的中心位置分成四个区域,每个区域均为聚苯乙烯背景下镶嵌铜杆状阵列,杆直径 $2\text{mm}$ ,杆排列方向与三个坐标轴夹角均成 $45^\circ$ 且每两杆中心相距 $5\text{mm}$ 。模拟中5-2部分沿着 $z$ 轴方向高度为 $5\text{cm}$ ,5-3部分沿着 $z$ 轴方向高度为 $5\text{cm}$ ,5-4部分沿着 $z$ 轴方向高度为 $10\text{cm}$ 。热源位于实际物平面的中心,形状为正方形(尺寸为 $2\text{cm}\times 2\text{cm}\times 1\text{cm}$ ),实际热源温度设置为 $393\text{K}$ ,环境温度设置为 $293\text{K}$ 。模拟中整个热欺骗结构的尺寸设置为 $15\text{cm}\times 40\text{cm}\times 40\text{cm}$ 。图8为实际物平面5-6的温度场分布,图9为观测像平面5-1的温度场分布,对比两图可以看出位于实际物平面(图8)中心位置的热源,在经过设计的定向导热结构后,在观测像平面(图9)产生形状、位置、大小等特征均发生改变的四个新热幻象源。

[0032] 本发明解决其技术问题所采用的技术方案是:构造一种通过热欺骗方法制备的热欺骗结构,使用如前述技术方案所述的热欺骗方法进行制备,包括:

实际热源所在的实际物平面、按照特定规则分布的高热导率材料和低热导率材料组成的定向导热结构、定向导热结构顶面为观测像平面；其中，所述热欺骗结构用于将实际热源产生的温度场分布从实际物平面沿着高热导率杆阵列方向投影到观测像平面，进而在观测像平面产生热源发生平移的热幻象。

[0033] 其中，按照特定规则分布的高热导率材料和低热导率材料组成定向导热结构分为分裂层和形变层；其中，分裂层和形变层按照高热导率杆的取向方向需分别设计；分裂层用于调控热幻象的数目和位置，形变层用于调控热幻象的大小和形状。

[0034] 图10和图11表示本发明的应用方法，图10对应没有使用任何热欺骗结构，一个热源用红外热摄像机去观察时，观测到的是和原热源完全一样的热图像，可轻易通过热图像准确地判断热源的形状、位置、数量等信息；图11对应在实际热源后加入了使用本发明方法设计的热欺骗结构，此时用红外热摄像机去观察时，观测到的是热源的数量、大小、位置和形状均发生变化后的热图像，无法从热图像中正确判断实际热源的信息（达到了热欺骗的效果）。

[0035] 区别于现有技术，本发明提供了一种实现热欺骗结构的简单方法：无需坐标变换和张量运算，也不需要借助热隐身和诱饵物体，只需要两种自然界中存在的材料按照特定方式组合，即可同时实现在数量、位置、大小和形状上产生预先设计的热欺骗效果。产生不同的热欺骗效果（比如热源的平移、分裂、形变等），采用本发明提出的方法设计的热欺骗结构所需材料参数都相同。

[0036] 上面结合附图对本发明的实施例进行了描述，但是本发明并不局限于上述的具体实施方式，上述的具体实施方式仅仅是示意性的，而不是限制性的，本领域的普通技术人员在本发明的启示下，在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下，还可做出很多形式，这些均属于本发明的保护之内。

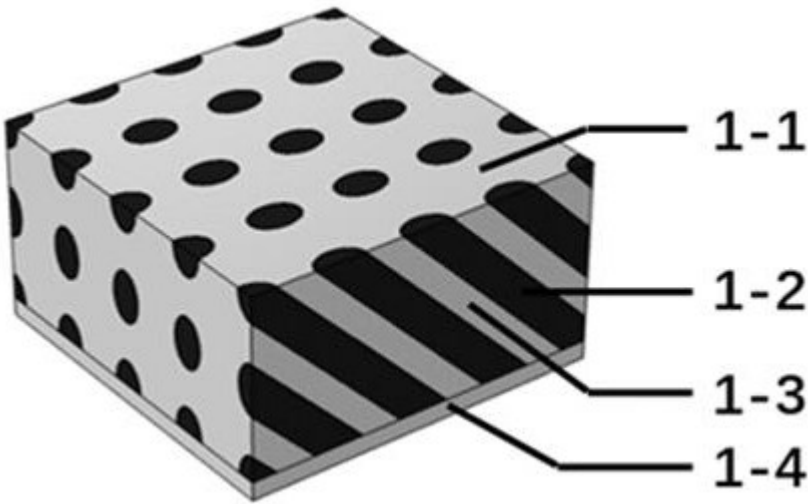


图1

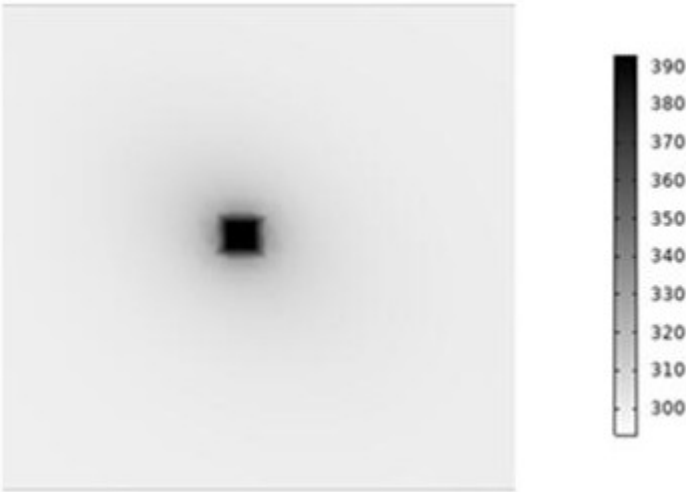


图2





图3

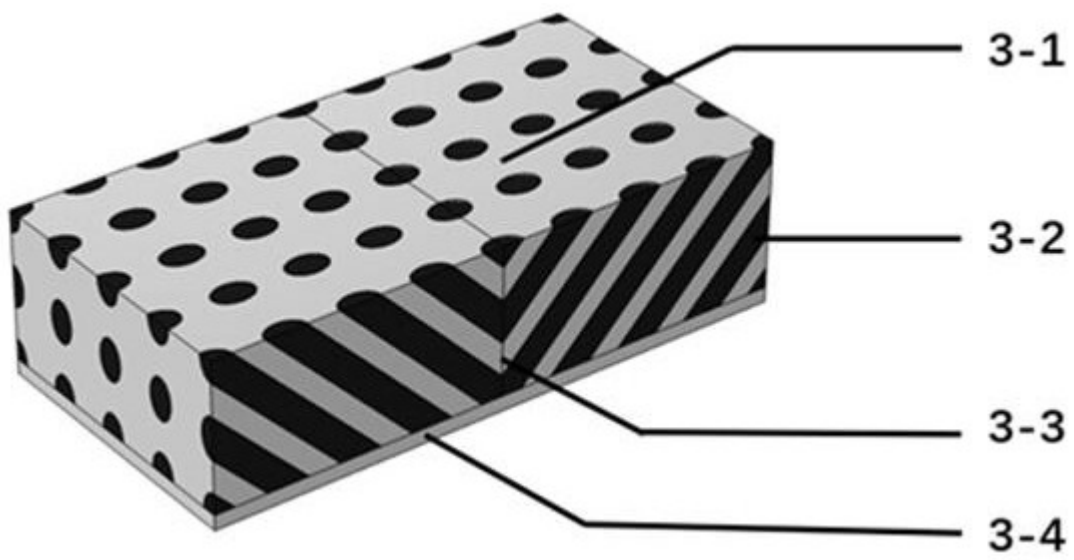


图4

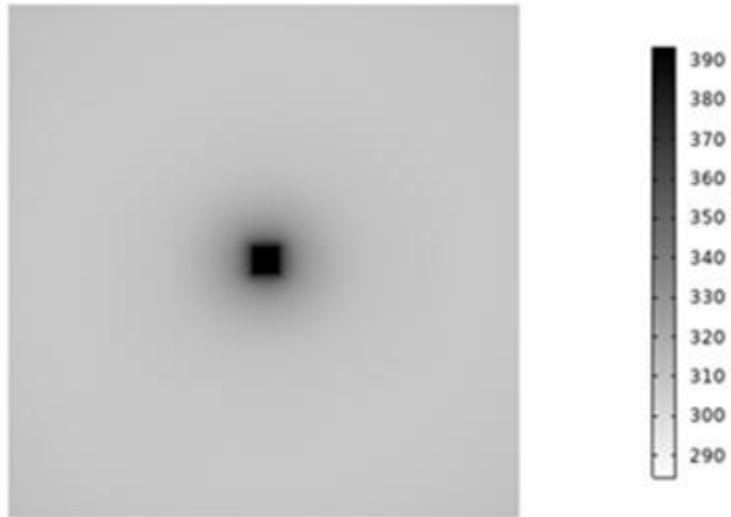


图5

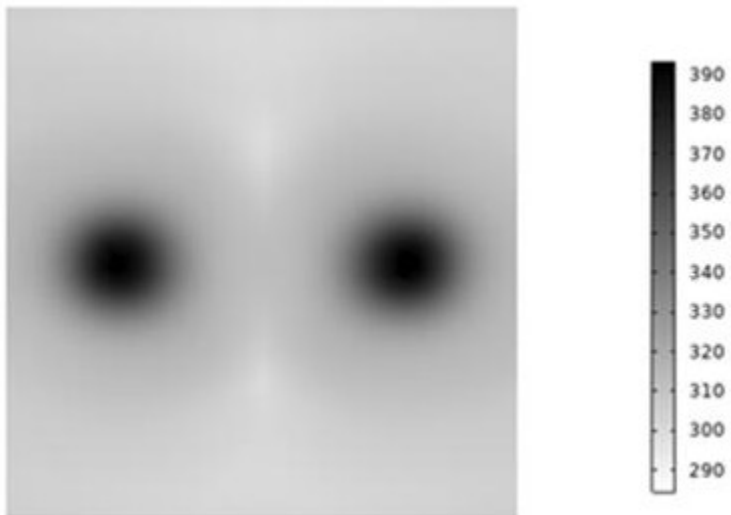


图6

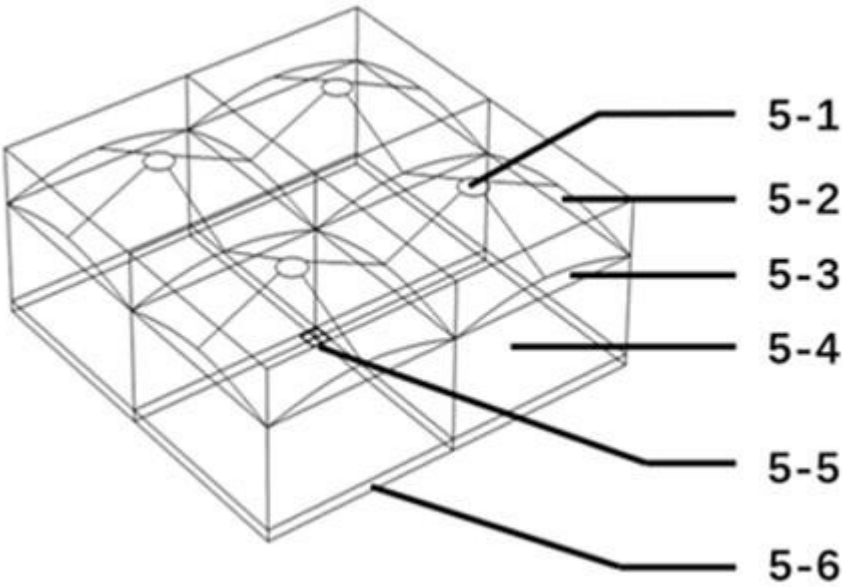


图7

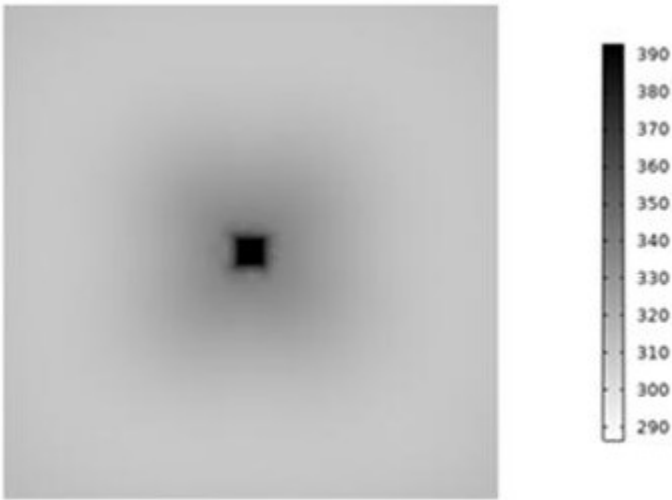


图8

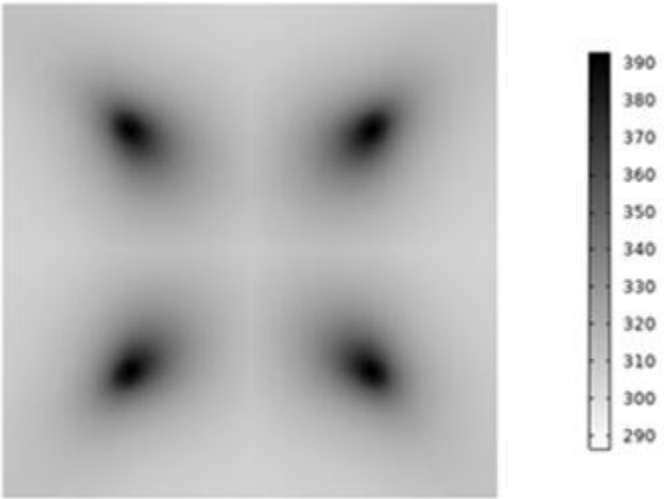


图9

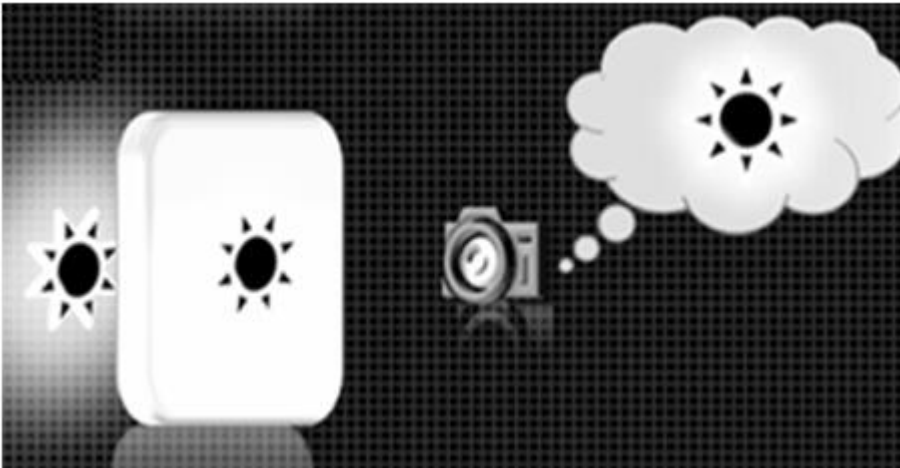


图10

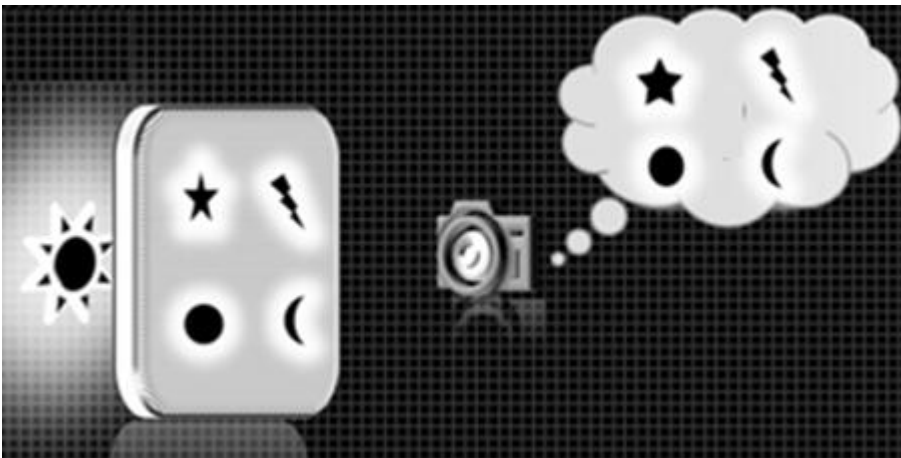


图11