



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104635337 B

(45)授权公告日 2017.03.01

(21)申请号 201510086401.8

审查员 张梅

(22)申请日 2015.02.17

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104635337 A

(43)申请公布日 2015.05.20

(73)专利权人 吉林大学

地址 130012 吉林省长春市前进大街2699号

(72)发明人 王世刚 武伟 赵岩 赵文婷

(74)专利代理机构 长春吉大专利代理有限责任公司 22201

代理人 邵铭康 朱世林

(51)Int.Cl.

G02B 27/00(2006.01)

G02B 27/22(2006.01)

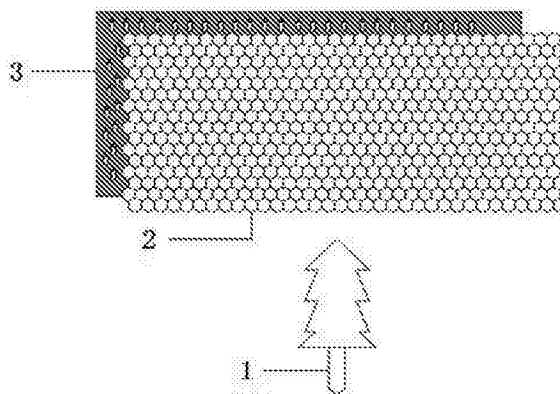
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

可提高立体图像显示分辨率的蜂窝式透镜阵列设计方法

(57)摘要

可提高立体图像显示分辨率的蜂窝式透镜阵列设计方法属立体视频显示技术领域,本发明主要步骤为:对比成像效率设定设计对象、蜂窝式透镜阵列模板的光学设计及成像特性分析和显示平面与蜂窝式透镜阵列的参数匹配,与传统的矩形透镜阵列相比,采用本发明的蜂窝式透镜阵列,能充分利用光学器件的有效面积,增大成像区域,使立体图像分辨率显著提高,从而获得高质量的三维再现像,提高观看的真实感和立体感。



1. 一种可提高立体图像显示分辨率的蜂窝式透镜阵列设计方法,其特征在于包括下列步骤:

(1)对比成像效率设定设计对象:将正方形透镜阵列成像效率 $\eta_{\text{正}}$ 与蜂窝式透镜阵列成像效率 $\eta_{\text{蜂}}$ 进行对比,选取成像效率更高的蜂窝式透镜阵列作为设计对象,具体包括下列步骤:

1.1 在正方形透镜阵列中,选取一个正方形内包含的四个透镜元为单元,计算正方形透镜阵列成像效率 $\eta_{\text{正}}$;

1.2 在蜂窝式透镜阵列中,选取一个正六边形内包含的七个透镜元为单元,计算蜂窝式透镜阵列成像效率 $\eta_{\text{蜂}}$;

1.3 将正方形透镜阵列成像效率 $\eta_{\text{正}}$ 与蜂窝式透镜阵列成像效率 $\eta_{\text{蜂}}$ 进行对比,取成像效率高、光信息多的蜂窝式透镜阵列作为设计对象;

(2)蜂窝式透镜阵列模板的光学设计及成像特性分析:包括设定蜂窝式透镜阵列每个透镜元的形状、大小、间距,计算焦距、曲率半径,分析物像关系,具体包括下列步骤:

2.1 设蜂窝式透镜阵列的透镜元间距等于正方形透镜阵列的透镜元间距,即 $p_{\text{蜂}}=p_{\text{正}}=p$,蜂窝式透镜阵列的折射率为 n ,每个透镜元的形状为正六边形,直径为 $\frac{\sqrt{3}}{3}p$,球缺高为 $h_{\text{球缺}}$,则蜂窝式透镜阵列的焦距 $f_{\text{蜂}}$ 为: $f_{\text{蜂}}=R/n-1$, R 为曲率半径; R 的计算与透镜阵列的制作工艺有关,采用光刻热熔法,则 $R=\frac{\sqrt{3}p^2H_{\text{胶}}}{2\pi h_{\text{球缺}}^2}+\frac{h_{\text{球缺}}}{3}$, $H_{\text{胶}}$ 为涂胶厚度;

2.2 蜂窝式透镜阵列的物像关系满足高斯成像公式: $\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f_{\text{蜂}}}$;由光线光学得出:

$$\frac{u}{v}=\frac{H_{\text{物}}}{h_{\text{像}}};$$

其中: u 为物距、 v 为像距、 $f_{\text{蜂}}$ 为焦距、 $H_{\text{物}}$ 为空间物体物高、 $h_{\text{像}}$ 为经蜂窝式透镜阵列的一个透镜元成像后的像高;

2.3 设定蜂窝式透镜阵列的每个透镜元的间距 p , p 要满足 $h_{\text{像}}\leq p$;

(3)显示平面与蜂窝式透镜阵列的参数匹配:具体包括下列步骤:

3.1 将显示模式设置为聚焦模式,即蜂窝式透镜阵列到显示平面的距离 g 等于蜂窝式透镜阵列的焦距 $f_{\text{蜂}}$;

3.2 计算正方形透镜阵列的立体图像显示分辨率 $R_{\text{正}}$ 、观看视角 $\Omega_{\text{正}}$ 、景深 $\Delta Z_{\text{正}}$,正方形透镜阵列在聚焦模式时有: $R_{\text{正}}=1/p$ 、 $\Omega_{\text{正}}=\arctg(\frac{p}{2f_{\text{正}}})$ 、 $\Delta Z_{\text{正}}=2f_{\text{正}}\frac{p}{\text{pix}}$;

其中: p 为每个透镜元的间距、 $f_{\text{正}}$ 为焦距、 pix 为显示平面像素尺寸;

3.3 计算蜂窝式透镜阵列的立体图像显示分辨率 $R_{\text{蜂}}$ 、观看视角 $\Omega_{\text{蜂}}$ 、景深 $\Delta Z_{\text{蜂}}$,蜂窝式透镜阵列在聚焦模式时,在水平方向上有: $R_{\text{蜂水}}=\frac{2}{p}$ 、 $\Omega_{\text{蜂水}}=\arctg(\frac{p}{4f_{\text{蜂}}})$ 、 $\Delta Z_{\text{蜂水}}=f_{\text{蜂}}\frac{p}{\text{pix}}$;

在垂直方向上有： $R_{\text{蜂垂}} = \frac{2\sqrt{3}}{3} \frac{1}{p}$ 、 $\Omega_{\text{蜂垂}} = \arctg\left(\frac{\sqrt{3}p}{4f_{\text{蜂}}}\right)$ 、 $\Delta Z_{\text{蜂垂}} = \sqrt{3}f_{\text{蜂}} \frac{p}{\text{pix}}$ ；

其中： p 为每个透镜元的间距、 $f_{\text{蜂}}$ 为焦距、 pix 为显示平面像素尺寸。

可提高立体图像显示分辨率的蜂窝式透镜阵列设计方法

技术领域

[0001] 本发明属于立体视频显示技术领域,具体涉及一种蜂窝式透镜阵列的设计方法。

背景技术

[0002] 随着科技的发展和人们生活水平的提高,传统的二维平面显示已经不能满足人们的视觉需求,具有逼真效果和丰富色彩的立体视频显示技术,是目前显示领域研究的热点。3D立体显示更接近人眼视觉系统,能使图像具有深度感、立体感和真实感,为人们提供了更多的信息量。

[0003] 目前,立体显示方法主要分为两类:基于视差的立体显示方法、真三维立体显示方法。第一类方法是使人的左右眼看到不同的图像,进而在大脑中形成具有深度信息的画面,需要佩戴特殊的眼镜,而且容易产生视觉疲劳;第二类方法主要有全息术、体显示技术、组合成像技术。这类方法是在空间中形成真实存在的3D影像,具有深度信息,而且不会给观看者带来不适。全息术利用的是干涉原理,需要具有高度相干性的光源,因此对光学系统的要求较高,而且多用于记录静止物体,在视频显示领域应用较少。体显示技术是快速运动的3D场景的2D切片图像,利用的是人眼视觉暂留特性,丢失了场景的3D信息,而且需要一个近于真空环境的保护罩,使得显示空间和显示方式都受限。

[0004] 组合成像技术是利用昆虫复眼结构的成像原理,可以提供一定视角范围内的连续视点,显示的3D影像立体感突出,系统结构也比较简单。组合成像技术主要由记录、传输、显示三部分组成。记录阶段用透镜阵列获取物体的3D信息,并以二维图像的方式存储在成像平面,因此可以利用现有的传输系统对图像进行传输。显示时,将成像平面放置在透镜阵列的焦平面上,根据光路可逆的原理就可以再现物体的3D信息。重现立体图像的效果与平面显示器的分辨率、立体元图像的分辨率有关。当立体元图像的分辨率与显示器的分辨率相等或更高时,显示器的分辨率可以被完整的利用;然而,当立体元图像的分辨率低于显示器的分辨率时,显示器的分辨率则不能被充分利用。随着电子技术的飞速发展,显示器的分辨率已达到较高的水平,因此,提高立体元图像的分辨率对于获得高质量的立体图像是非常必要的。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种能在相同透镜尺寸条件下,增大透镜阵列的成像面积,提高成像效率,从而提高再现立体图像分辨率的蜂窝式透镜阵列的设计方法。

[0006] 本发明的可提高立体图像显示分辨率的蜂窝式透镜阵列设计方法,包括下列步骤:

[0007] 1.对比成像效率设定设计对象:将正方形透镜阵列成像效率 $\eta_{正}$ 与蜂窝式透镜阵列成像效率 $\eta_{蜂}$ 进行对比,选取成像效率更高的蜂窝式透镜阵列作为设计对象,成像效率定义为透镜阵列的有效传光面积 $S_{有}$ 与总面积 $S_{总}$ 的比值: $\eta = S_{有}/S_{总}$ 。对固定的 $S_{总}$,有效的传光面积 $S_{有}$ 越大,光信息的丢失才会越小。具体包括下列步骤:

[0008] 1.1在正方形透镜阵列中,选取一个正方形内包含的四个透镜元为单元,计算正方形透镜阵列成像效率 $\eta_{\text{正}}$;

[0009] 1.2在蜂窝式透镜阵列中,选取一个正六边形内包含的七个透镜元为单元,计算蜂窝式透镜阵列成像效率 $\eta_{\text{蜂}}$;

[0010] 1.3将正方形透镜阵列成像效率 $\eta_{\text{正}}$ 与蜂窝式透镜阵列成像效率 $\eta_{\text{蜂}}$ 进行对比,取成像效率高、光信息多的蜂窝式透镜阵列作为设计对象。

[0011] 2.蜂窝式透镜阵列模板的光学设计及成像特性分析:包括设定蜂窝式透镜阵列每个透镜元的形状、大小、间距,计算焦距、曲率半径,分析物像关系,具体包括下列步骤:

[0012] 2.1设蜂窝式透镜阵列的透镜元间距等于正方形透镜阵列的透镜元间距,即 $p_{\text{蜂}} = p_{\text{正}} = p$,蜂窝式透镜阵列的折射率为 n ,每个透镜元的形状为正六边形,直径为 $\frac{\sqrt{3}}{3}p$,球缺高

为 $h_{\text{球缺}}$,则蜂窝式透镜阵列的焦距 $f_{\text{蜂}}$ 为: $f_{\text{蜂}} = R/n - 1$, R 为曲率半径; R 的计算与透镜阵列的制作工艺有关,若采用光刻热熔法,则 $R = \frac{\sqrt{3}p^2 H_{\text{胶}}}{2\pi h_{\text{球缺}}^2} + \frac{h_{\text{球缺}}}{3}$, $H_{\text{胶}}$ 为涂胶厚度。

[0013] 2.2蜂窝式透镜阵列的物像关系满足高斯成像公式: $\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f_{\text{蜂}}}$;由光线光学得

出: $\frac{u}{v} = \frac{H_{\text{物}}}{h_{\text{像}}}$;

[0014] 其中: u 为物距、 v 为像距、 $f_{\text{蜂}}$ 为焦距、 $H_{\text{物}}$ 为空间物体物高、 $h_{\text{像}}$ 为经蜂窝式透镜阵列的一个透镜元成像后的像高。

[0015] 2.3设定蜂窝式透镜阵列的每个透镜元的间距 p ,为避免串扰,使蜂窝式透镜阵列能更好的成像, p 要满足 $h_{\text{像}} \leq p$;经过以上的计算,可以得出满足要求的最优参数组。

[0016] 3.显示平面与蜂窝式透镜阵列的参数匹配:具体包括下列步骤:

[0017] 3.1组合成像系统的显示模式分为实像模式、虚像模式、聚焦模式。聚焦模式下立体图像的深度比其他模式都深,且立体图像的深度越大,立体感越好,因此本发明将显示模式设置为聚焦模式,即蜂窝式透镜阵列到显示平面的距离 g 等于蜂窝式透镜阵列的焦距 $f_{\text{蜂}}$;

[0018] 3.2计算正方形透镜阵列的立体图像显示分辨率 $R_{\text{正}}$ 、观看视角 $\Omega_{\text{正}}$ 、景深 $\Delta Z_{\text{正}}$,正方形透镜阵列在聚焦模式时有: $R_{\text{正}} = 1/p$ 、 $\Omega_{\text{正}} = \arctg(\frac{p}{2f_{\text{正}}})$ 、 $\Delta Z_{\text{正}} = 2f_{\text{正}} \frac{p}{\text{pix}}$;

[0019] 其中: p 为每个透镜元的间距、 $f_{\text{正}}$ 为焦距、 pix 为显示平面像素尺寸。

[0020] 3.3计算蜂窝式透镜阵列的立体图像显示分辨率 $R_{\text{蜂}}$ 、观看视角 $\Omega_{\text{蜂}}$ 、景深 $\Delta Z_{\text{蜂}}$ 。蜂窝式透镜阵列在聚焦模式时,在水平方向上有: $R_{\text{蜂水}} = \frac{2}{p}$ 、 $\Omega_{\text{蜂水}} = \arctg(\frac{p}{4f_{\text{蜂}}})$ 、 $\Delta Z_{\text{蜂水}} = f_{\text{蜂}} \frac{p}{\text{pix}}$;

在垂直方向上有: $R_{\text{蜂垂}} = \frac{2\sqrt{3}}{3} \frac{1}{p}$ 、 $\Omega_{\text{蜂垂}} = \arctg(\frac{\sqrt{3}p}{4f_{\text{蜂}}})$ 、 $\Delta Z_{\text{蜂垂}} = \sqrt{3}f_{\text{蜂}} \frac{p}{\text{pix}}$;

[0021] 其中: p 为每个透镜元的间距、 $f_{\text{蜂}}$ 为焦距、 pix 为显示平面像素尺寸。

[0022] 对比步骤3中的3.2和3.3,将具有相同透镜元间距 p 的正方形透镜阵列和蜂窝式透

镜阵列,放置于同一显示平面前,可以看出:蜂窝式透镜阵列的立体图像显示分辨率明显高于正方形透镜阵列。

[0023] 本发明的积极效果在于:每个透镜元都是完全一致的六边形,相邻透镜元是紧密接触的,几乎不存在空隙,可以实现 $\eta_{\text{峰}} \approx 1$,光信息丢失几乎为零,提高了单位面积内的成像效率,进而提高了立体图像显示分辨率。本发明给出了模板的设计、光学参数的计算以及成像特性的分析,从理论上证明了本发明的可行性。

附图说明

[0024] 图1为蜂窝式透镜阵列在组合成像系统中的应用示意图

[0025] 图2为组合成像系统示意图

[0026] 图3为正方形透镜阵列结构示意图

[0027] 图4为蜂窝式透镜阵列结构示意图

[0028] 图5为蜂窝式透镜阵列设计模板示意图

[0029] 图6为蜂窝式透镜阵列的成像关系示意图

[0030] 图7为蜂窝式透镜阵列与显示平面的匹配关系示意图

[0031] 图8为正方形透镜阵列的采样间隔示意图

[0032] 图9为蜂窝式透镜阵列的采样间隔示意图

[0033] 其中:1.真实物体 2蜂窝式透镜阵列 3.记录/显示平面 4.正方形透镜阵列 5立体图像 6.透镜元 7.基底

具体实施方式

[0034] 下面结合附图对本发明做详细的说明。

[0035] 图2为组合成像系统示意图。系统主要由两部分组成:1、4、3为采集部分;3、4、5为显示部分。真实物体1发出的光线经透镜阵列4成像后,记录在记录平面3上。显示时,将显示平面3放置在正方形透镜阵列4的焦平面上,根据光路可逆原理就可生成立体图像5。

[0036] 图3为正方形透镜阵列结构示意图,图4为蜂窝式透镜阵列结构示意图。透镜元的间距都为 p 。在透镜阵列中,成像效率 η 定义为透镜阵列的有效传光面积 $S_{\text{有}}$ 与总面积 $S_{\text{总}}$ 的比值:

$$[0037] \quad \eta = S_{\text{有}}/S_{\text{总}} \quad (1)$$

[0038] 由(1)式可以看出,对固定的 $S_{\text{总}}$,有效的传光面积 $S_{\text{有}}$ 越大,成像效率就越大,光信息的丢失才会越小。在正方形透镜阵列中选取一个正方形内包含的四个透镜元为单元,有效传光面积为 2×2 个圆形透镜,那么正方形透镜阵列的成像效率是:

$$[0039] \quad \eta_{\text{正}} = S_{\text{有}}/S_{\text{总}} = \pi/4 = 0.785 \quad (2)$$

[0040] 蜂窝式透镜阵列的透镜元连接紧密,选取一个正六边形内包含的七个透镜元为单元,计算蜂窝式透镜阵列的成像效率为:

$$[0041] \quad \eta_{\text{峰}} = S_{\text{有}}/S_{\text{总}} \approx 1 \quad (3)$$

[0042] 对比(2)、(3)式,我们可以得出:蜂窝式透镜阵列的成像效率较高,因此经图1获得物体的光信息更多。

[0043] 图5是采用光刻热熔法制作蜂窝式透镜阵列的设计模板,6为透镜元,7为基底。参

数 n 为折射率, $h_{\text{球缺}}$ 为透镜元的球缺高, $H_{\text{胶}}$ 为涂胶厚度。透镜元的间距为 p ,直径为 $\frac{\sqrt{3}}{3}p$,见图

4。通过计算我们可以得到蜂窝式透镜阵列的焦距 $f_{\text{蜂}}$:

$$[0044] \quad f_{\text{蜂}} = R/n - 1 \quad (4)$$

[0045] 曲率半径 R :

$$[0046] \quad R = \frac{\sqrt{3}p^2 H_{\text{胶}} + h_{\text{球缺}}}{2\pi h_{\text{球缺}}^2} \quad (5)$$

[0047] 图6是蜂窝式透镜阵列的成像关系。蜂窝式透镜阵列2从不同方向记录物体1的三维信息,并将信息以二维图像的方式记录在成像平面3上。根据高斯成像公式有:

$$[0048] \quad \frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f_{\text{蜂}}} \quad (6)$$

[0049] 根据光线光学可得:

$$[0050] \quad \frac{u}{v} = \frac{H_{\text{物}}}{h_{\text{像}}} \quad (7)$$

$$[0051] \quad h_{\text{像}} \leq p \quad (8)$$

[0052] 其中: u 为物距、 v 为像距、 $f_{\text{蜂}}$ 为焦距, p 为透镜元间距。为了使设计的透镜阵列能够更好的成像,避免串扰,由(6-8)式,我们可以得出满足要求的最优参数组。

[0053] 图7为蜂窝式透镜阵列与显示平面的匹配关系示意图,将蜂窝式透镜阵列2放置在显示平面3前,距离为 g ,根据光路可逆原理就会再现物体的立体图像4。当 $g > f$ 时为实像模式,透镜阵列发出的光线汇聚在透镜阵列前方;当 $g < f$ 时为虚像模式,透镜阵列发出的光线反向延长线汇聚在透镜的后方。当 $g = f$ 时,为聚焦模式,可在透镜阵列前后同时成像,此时立体图像的深度最大,立体效果最好,因此本发明将显示模式设置为聚焦模式。

[0054] 图8为正方形透镜阵列的采样间隔示意图,设 Δx 代表蜂窝式透镜阵列和正方形透镜阵列的水平采样间隔, Δy 代表垂直采样间隔。计算聚焦模式下的正方形透镜阵列的立体图像显示分辨率 $R_{\text{正}}$ 、观看视角 $\Omega_{\text{正}}$ 、景深 $\Delta Z_{\text{正}}$,此时 $\Delta x = \Delta y = p$,根据几何光学可以得出:

$$[0055] \quad R_{\text{正}} = 1/p \quad (9)$$

$$[0056] \quad \Omega_{\text{正}} = \arctg\left(\frac{p}{2f_{\text{正}}}\right) \quad (10)$$

$$[0057] \quad \Delta Z_{\text{正}} = 2f_{\text{正}} \frac{p}{\text{pix}} \quad (11)$$

[0058] 其中: $f_{\text{正}}$ 为焦距、 pix 为显示平面像素尺寸。

[0059] 图9为蜂窝式透镜阵列的采样间隔示意图, $\Delta x = \frac{p}{2}$ 、 $\Delta y = \frac{\sqrt{3}}{2}p$,即蜂窝式透镜阵列的采样间隔在水平和垂直方向都减小了,对比正方形透镜阵列的各参数,我们可以得出:

$$[0060] \quad R_{\text{蜂水}} = \frac{2}{p} \quad R_{\text{蜂垂}} = \frac{2\sqrt{3}}{3} \frac{1}{p} \quad (12)$$

$$[0061] \quad \Omega_{\text{蜂水}} = \arctg\left(\frac{p}{4f_{\text{蜂}}}\right) \quad \Omega_{\text{蜂垂}} = \arctg\left(\frac{\sqrt{3}p}{4f_{\text{蜂}}}\right) \quad (13)$$

$$[0062] \quad \Delta Z_{\text{蜂水}} = f_{\text{蜂}} \frac{p}{pix} \quad \Delta Z_{\text{蜂垂}} = \sqrt{3}f_{\text{蜂}} \frac{p}{pix} \quad (14)$$

[0063] 对比(9)、(12)式,蜂窝式透镜阵列的立体图像显示分辨率在水平方向 $R_{\text{蜂水}}$ 和垂直方向 $R_{\text{蜂垂}}$ 均高于正方形透镜阵列。

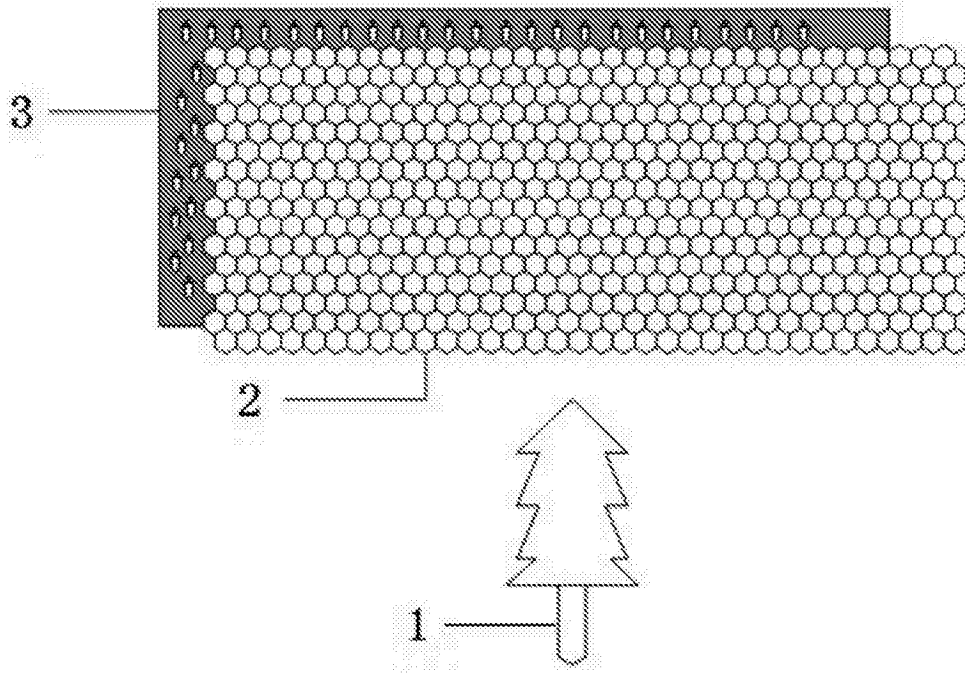


图1

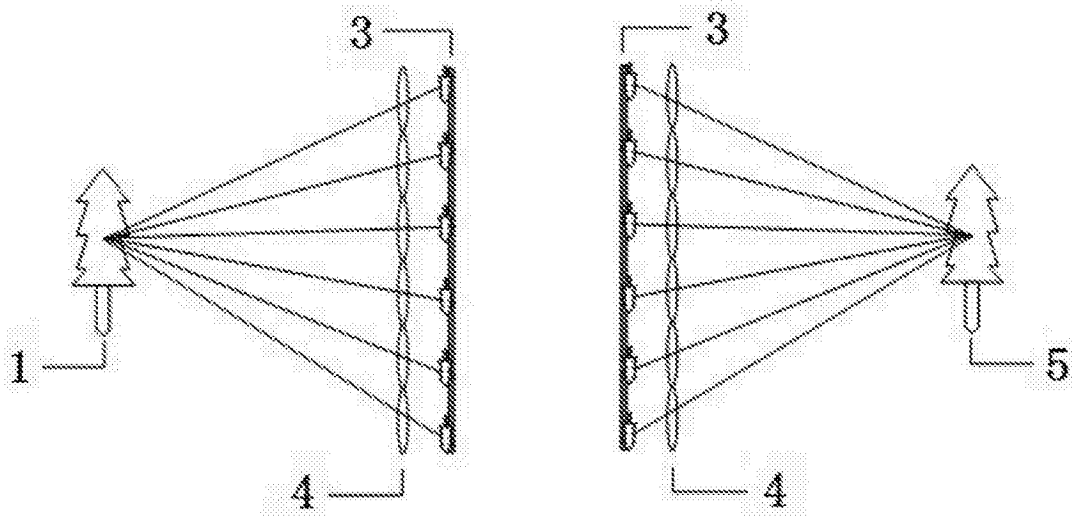


图2

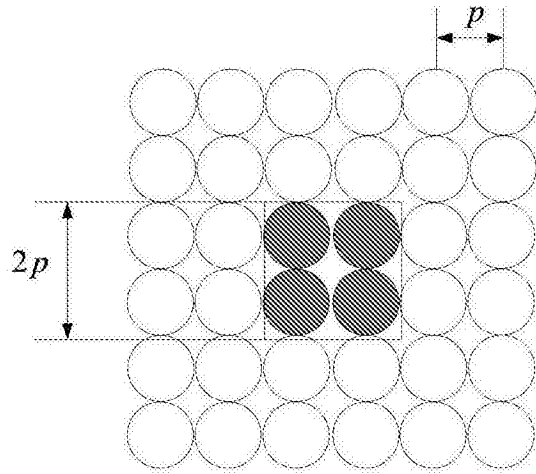


图3

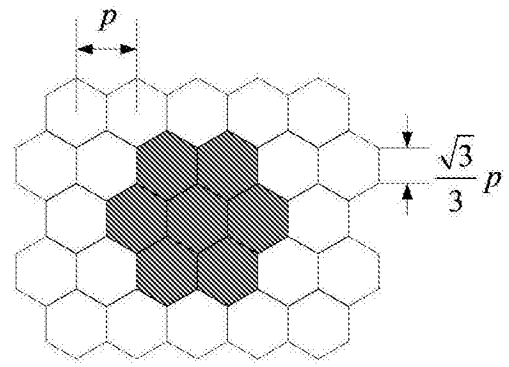


图4

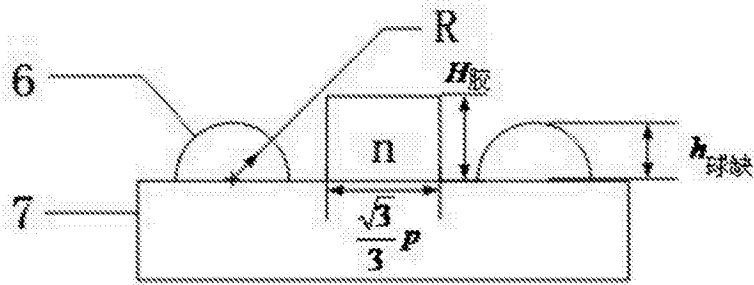


图5

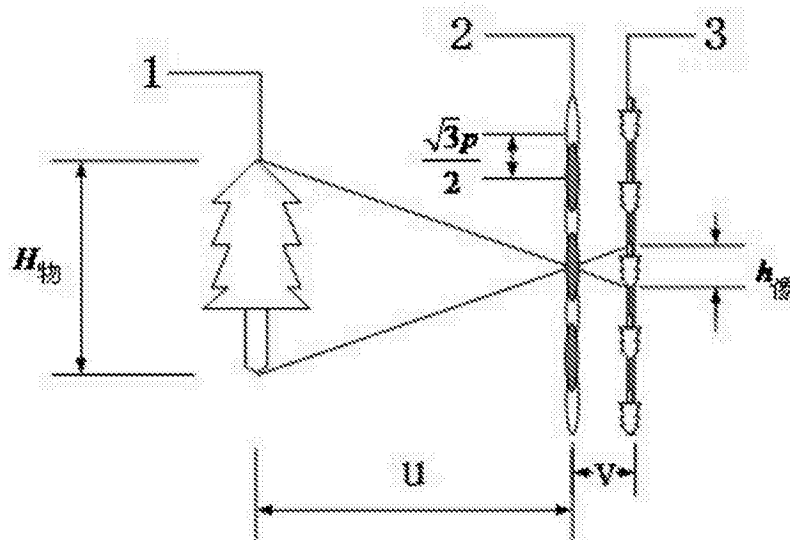


图6

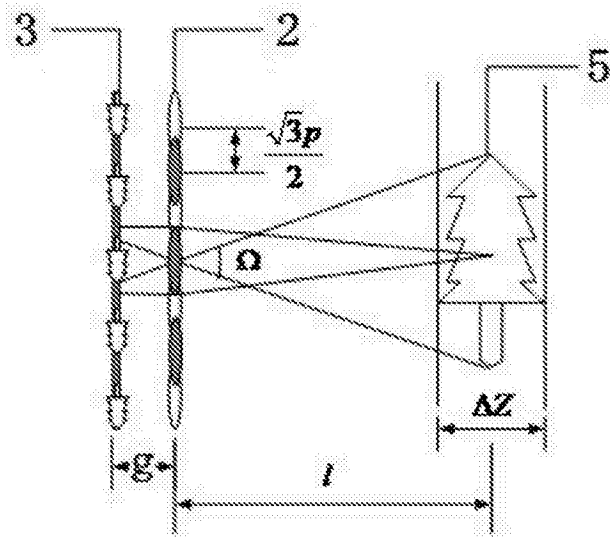


图7

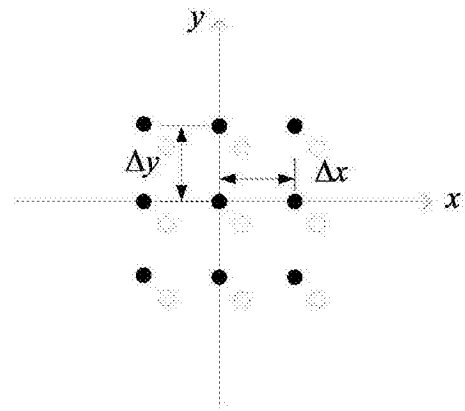


图8

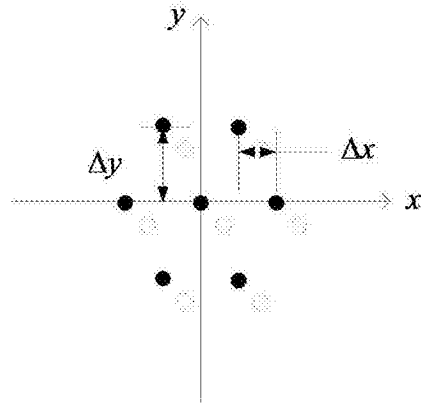


图9