

(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
2018 年 6 月 14 日 (14.06.2018)



(10) 国际公布号
WO 2018/103670 A1

(51) 国际专利分类号:
G02B 27/22 (2006.01) **G03B 21/00** (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/114851

(22) 国际申请日: 2017 年 12 月 6 日 (06.12.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201611124003.1 2016 年 12 月 8 日 (08.12.2016) CN
201711270401.9 2017 年 12 月 5 日 (05.12.2017) CN
201711271270.6 2017 年 12 月 5 日 (05.12.2017) CN
201711269267.0 2017 年 12 月 5 日 (05.12.2017) CN
201711271272.5 2017 年 12 月 5 日 (05.12.2017) CN

(71) 申请人: 未来 (北京) 黑科技有限公司(FUTURUS TECHNOLOGY CO., LTD.) [CN/CN]; 中国北京市北京经济技术开发区地盛北街 1 号院 36 号楼 505 室, Beijing 100176 (CN)。

(72) 发明人: 徐俊峰(XU, Junfeng); 中国北京市亦庄地盛北街 1 号院 36 号楼 505 室, Beijing 100176 (CN)。方涛(FANG, Tao); 中国北京市亦庄地盛北街 1 号院 36 号楼 505 室, Beijing 100176 (CN)。

(74) 代理人: 深圳壹舟知识产权代理事务所 (普通合伙) (SHENZHEN ARK IP AGENT LLP); 中国广东省深圳市罗湖区爱国路 1058 号金通大厦 B 栋 2011 室, Guangdong 518003 (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, 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, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, 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))。

(54) Title: SYSTEM FOR USE IN IMAGEING IN AIR

(54) 发明名称: 用于在空中成像的系统

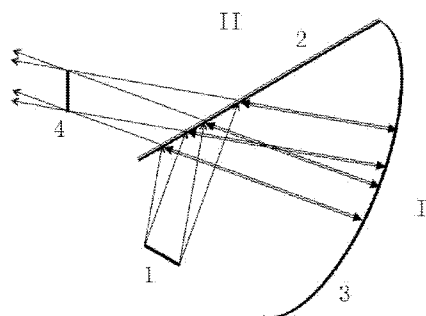


图 1

(57) Abstract: A system for use in imaging in the air, comprising: an image source (1), a transmissive mirror (2) and an opposing reflective element (3); a light emitted by the image source (1) passes through a reflection of the transmissive mirror (2) and is irradiated onto the opposing reflective element (3), wherein the light is reflected on the opposing reflective element (3) and then emerges in an opposite direction along an original incident path, and after being transmitted by the transmissive mirror (2), then forms a real image (4); the opposing reflective element (3) comprises a large number of micro-structures (31, 31') for use in reflecting in an opposing direction, wherein a relationship between the diameter of the micro-structures (31, 31'), the dot pitch of a source image pixel array, and an optical path from the real image (4) to the opposing reflective element (3) is designed as follows: the diameter of the micro-structures (31, 31') is linearly related to the dot pitch, and the optical path is linearly related to a square of the dot pitch. The system does not require any medium and may present an image directly in the air or even in a vacuum.

(57) 摘要：一种用于在空中成像的系统，其包括，像源(1)、透反镜(2)和对向反射元件(3)；像源(1)发出的光线经过透反镜(2)的反射，照射到对向反射元件(3)上，光线在对向反射元件(3)上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，透射过透反镜(2)后形成实像(4)；对向反射元件(3)包括大量用于对向反射的微结构(31、31')，微结构(31、31')的直径、像源像素点阵的点距以及实像(4)到对向反射元件(3)的光程之间的关系设计成，微结构(31、31')的直径与点距成线性关系，而光程与点距的平方成线性关系。该系统不需要借助任何介质，可以直接在空气，甚至真空中呈现影像。

用于在空中成像的系统

本申请要求于 2016 年 12 月 8 日提交的中国专利申请 CN2016111240031 的优先权，于 2017 年 12 月 5 日提交的中国专利申请 CN2017112704019 的
5 优先权，于 2017 年 12 月 5 日提交的中国专利申请 CN2017112712706 的优先权，于 2017 年 12 月 5 日提交的中国专利申请 CN2017112692670 的优先权，于 2017 年 12 月 5 日提交的中国专利申请 CN2017112712725 的优先权，这些申请通过引用完整地结合在本文中。

10 技术领域

本发明涉及全息成像领域，更具体地，涉及一种用于在空中成像的系统。

背景技术

全息技术是利用干涉和衍射原理来记录并再现物体真实的三维图像的
15 技术。

传统的全息成像方法是利用激光干涉的原理，产生全息图像。激光光源发出的光分为两束，一束直接射向感光片，另一束经被摄物的反射后再射向感光片。两束光在感光片上叠加产生干涉，最后利用数字图像基本原理对再现的全息图进行进一步处理，去除数字干扰，得到清晰的全息图像。这种方
20 法存在对单色性要求高，彩色成像的实现比较困难的缺点。

现有的全息成像技术，一般分为以下三种：

第一种是需要借助虚拟现实或增强现实眼镜或者头盔，如微软的 HoloLens 等；这种技术因为需要借助于辅助器具，应用场景有限，且目前造
价昂贵。

25 第二种需要借助高速旋转的反光板和高速刷新的投影仪，将图像投影在

高速旋转的反光板上从而实现三维图像。专利文献 CN105372926A 中公开了一种利用此类技术的转动式全息投影展示柜。这种技术很难实现互动，并且对场地空间的要求很苛刻。

第三种是借助含有细微颗粒的介质，例如含水蒸汽的空气，将图像投射
5 在水蒸汽液化形成的小水珠上，由于分子震动不均衡，可以形成层次和立体感很强的图像。在专利文献 CN104977794A 以及 CN 103116422 A 中，公开了这种技术的应用，都是利用水蒸汽幕墙在空气中形成图像。应用这种技术仍然需要配备辅助工具，用于产生水蒸汽幕墙，因此使用并不是很方便。

总的来说，以上技术或成像于虚拟现实或增强现实工具，或成像于高速
10 旋转的反光板，或成像于空气中的蒸汽微粒，都不是真正意义上的在空中成像。

发明内容

本发明旨在克服上述技术的缺陷，提供一种真正的在空中成像的系统和方法，使得可以直接在没有任何特殊介质的空气中成像，甚至可以在真空中
15 成像；这使应用范围大大扩展，不再受辅助工具的限制，对现有的人机互动场景带来革命性的突破。

根据本发明的一个主要方面，提供一种用于在空中成像的系统，其包括，
像源、透反镜和对向反射元件；其中

20 像源发出的光线经过透反镜的反射，照射到对向反射元件上，光线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，透射过透反镜后形成实像。

根据本发明的另一个主要方面，提供一种用于在空中成像的系统，其包括，像源、透反镜和对向反射元件；其中

25 像源发出的光线经过透反镜的透射，照射到对向反射元件上，光线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，经透反镜反射后形

成实像。

根据本发明的又一个主要方面，提供一种用于在空中成像的系统，其包括，像源、透反镜、第一对向反射元件和第二对向反射元件；其中

5 像源发出的光线经过透反镜的反射，照射到第一对向反射元件上，光线在第一对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，透射过透反镜后形成第一实像；而

另外，像源发出的光线经过透反镜的透射，照射到第二对向反射元件上，光线在第二对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，经透反镜反射后形成第二实像。

10 根据本发明的另一个主要方面，提供一种用于在空中成像的系统，其包括，第一像源、第二像源、透反镜和对向反射元件；其中

第一像源发出的光线经过透反镜的反射，照射到对向反射元件上，光线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，透射过透反镜后形成第一实像；而

15 第二像源发出的光线经过透反镜的透射，照射到对向反射元件上，光线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，经透反镜反射后形成第二实像；并且

第一像源和第二像源的位置设置成，使得第一实像和第二实像形成在同一位置。

20 优选地，像源是发出虚像或者实像的显示成像设备，或者由这些显像设备所形成的虚像或实像。

优选地，像源的光源为激光、发光二极管、有机发光二极管、受激荧光发光材料中的一种或多种。

优选地，透反镜的透射率的范围为 20%~80%。

25 优选地，透反镜的反射率的范围为 20%~80%。

在一种优选的实施形式中，对向反射元件包括带反射面的基材，以及分

布在基材上的微结构。

优选地，微结构是透明材质形成的直角顶点微结构，其中该直角顶点微结构带至少一个直角顶点且该直角顶点的三条棱互成直角。

5 优选地，微结构是含有直角顶点微结构的凹陷部，其中该直角顶点微结构带至少一个直角顶点且该直角顶点的三条棱互成直角。

优选地，微结构是透明材质形成的球状微结构。

优选地，反射面形成于所述基材朝向所述微结构的面上。

优选地，反射面形成于所述基材与所述微结构交界的区域上。

10 优选地，微结构和所述基材是由同样的透明材质一体形成的，所述直角顶点是向外凸起的，所述反射面形成在所述直角顶点的三条棱两两交互而成的三个面上。

优选地，微结构在基材上均匀分布。

优选地，所述基材是薄膜、幕布、板材或树脂。

在另一种优选的实施形式中，对向反射元件包括大量对向反射单元。

15 优选地，对向反射单元包括带反射面的微结构。

优选地，微结构是透明材质形成的直角顶点微结构，其中该直角顶点微结构带至少一个直角顶点且该直角顶点的三条棱互成直角，而这三条棱两两相交形成的三个面或至少它们的部分区域形成反射面。

20 优选地，微结构是含有直角顶点微结构的凹陷部，其中该直角顶点微结构带至少一个直角顶点且该直角顶点的三条棱互成直角，而这三条棱两两相交形成的三个面或至少它们的部分区域形成反射面。

优选地，微结构是透明材质形成的球状微结构；该球状微结构离所述透反镜较远的那部分表面形成反射面。

25 优选地，微结构的反射面附着在基材上或与之形成为一体；其中该基材能够用于承载所述对向反射元件。

优选地，微结构的反射面以外的面附着在透明的基材上或与之形成为一

体；其中该基材能够用于承载所述对向反射元件。

在又一种优选的实施形式中，对向反射元件也包括大量对向反射单元。

优选地，对向反射单元包括第一材质和第二材质中的一种，该对向反射单元还包括反射面；

5 第一材质是透明的实体材料；

第一材质从光线的入射路径看去，位于反射面的前方；光线经由第一材质入射后，在反射面上经反射后，又从第一材质出射；

第二材质从光线的入射路径看去，位于反射面的后方。

10 优选地，对向反射单元包括第一材质和第二材质，对向反射单元还包括反射面；

第一材质是空气或者真空；而第二材质是薄膜、幕布、板材或树脂；

第一材质从光线的入射路径看去，位于反射面的前方；光线经由第一材质入射后，在反射面上经反射后，又从第一材质出射；

第二材质从光线的入射路径看去，位于反射面的后方。

15 优选地，反射面是由直角顶点的三条棱两两相交形成的三个面或至少它们的部分区域，其中该直角顶点的三条棱互成直角。

优选地，反射面是球体表面的一部分，从光线的入射路径看去所述球体的圆心位于所述反射面的前方。

优选地，第二材质是薄膜、幕布、板材或树脂。

20 优选地，直角顶点的三条棱等长。

优选地，反射面上附着有高反射材料。

优选地，高反射材料的反射率高达 60%、70%、80%或 90%以上。

优选地，高反射材料以喷涂或者镀膜的方式附着在反射面上。

优选地，对向反射元件具有朝向透反镜弯曲的弧度。

25 优选地，微结构在对向反射元件上均匀分布。

优选地，像源为立体像源。

优选地，立体像源为可以显示三维立体的图像，结构和视频源的三维立体显示设备。

优选地，三维立体显示设备包括平移扫描成像系统或旋转扫描成像系统。

5 优选地，透反镜的两个面中的一个面附着有透反材质，使得反射率在20%—80%，相应的透射率在80%—20%之间。

优选地，透反镜的两个面中没有附着透反材质的面附着有增透材质。

优选地，三条棱的长度在20微米~5毫米之间。

优选地，三条棱中，最长的棱长度不超过最短的棱长度的10倍。

10 优选地，第一材质是透明的实体材料时，其入射面附着有增透材质。

优选地，第一材质是透明的实体材料时，其入射面是平面。

优选地，三条棱所形成的三个面中至少有一个面与入射面的夹角小于54度。

根据本发明的一个主要方面，提供一种用于在空中成像的方法，其包括
15 下列步骤：

(1) 提供像源、透反镜和对向反射元件；

(2) 使像源发出的光线经过透反镜的反射，照射到对向反射元件上；

(3) 使光线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，再透射过透反镜后形成实像。

20 根据本发明的另一个主要方面，提供一种用于在空中成像的方法，其包括下列步骤：

(1) 提供像源、透反镜和对向反射元件；

(2) 使像源发出的光线经过透反镜的透射，照射到对向反射元件上；

25 射，经透反镜反射后形成实像。

根据本发明的又一个主要方面，提供一种用于在空中成像的方法，其包

括下列步骤：

(1) 提供像源、透反镜、第一对向反射元件和第二对向反射元件；

(2) 使像源发出的光线经过透反镜的反射，照射到第一对向反射元件上；并使像源发出的光线经过透反镜的透射，照射到第二对向反射元件上，

5 (3) 使光线在第一对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，透射过透反镜后形成第一实像；并使光线在第二对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，经透反镜反射后形成第二实像。

根据本发明的另一个主要方面，提供一种用于在空中成像的方法，其包括下列步骤：

10 (1) 提供第一像源、第二像源、透反镜和对向反射元件；

(2) 使第一像源发出的光线经过透反镜的反射，照射到对向反射元件上；并使第二像源发出的光线经过透反镜的透射，照射到对向反射元件上；

(3) 使第一像源发出的光线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，透射过透反镜后形成第一实像；并使第二像源发出的光
15 线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，经透反镜反射后形成第二实像；

(4) 设置第一像源和第二像源的位置，使得第一实像和第二实像形成在同一位置。

20 在本发明中，“对向反射”的含义是，光线在对向反射元件上发生对向反射时，从宏观上观察，反射光线与入射光线处于同一条路径上，只是方向相反，（当然，从微观上观察，可以认为反射路径和入射路径略有偏移）。另外，由于光具有波粒二象性，光线从对向反射元件反射时，会存在一定的衍射效应，反射光会产生一定的发散角；在这个角度理解时，只要反射光的主轴与入射光方向相反，也是满足本发明中“对向反射”的要求的。
25

对向反射对光线的微观上的偏移以及夫朗和费衍射是影响本发明空中

成像的清晰度的两个核心因素，这两种因素也是相互制约的。对向反射元件的微结构尺寸越小，则造成的光线偏移越小，但是衍射造成的光斑则越大；相反的，如果微结构尺寸越大，则衍射造成的光斑越小，但是造成的光线偏移越大。为了克服这两种相互制约的关系对成像清晰度的不利影响，本发明
5 还提供以下方案来以获取最优的成像清晰度。

根据本发明的一个主要方面，提供一种用于在空中成像的系统，其包括，像源、透反镜和对向反射元件；其中

像源发出的光线经过透反镜的反射，照射到对向反射元件上，光线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，透射过透反镜后形
10 成实像；

对向反射元件包括大量用于对向反射的微结构，微结构的半径、像源像素点阵的点距以及实像到对向反射元件的光程之间的关系设计成，微结构的直径随着点距的增大而增大，并且光程也随着点距的增大而增大。

优选地，该微结构的直径、该像源像素点阵的点距以及该实像到对向反
15 射元件的光程之间的关系设计成，该微结构的直径与该点距成线性关系，而该光程与该点距的平方成线性关系。

优选地，该微结构的直径以及该实像到对向反射元件的光程之间的关系设计成，在该光程选定时，该微结构的面积设计成与像源发出光线的波长成反比。

20 优选地，该微结构的直径和该像源像素点阵的点距之间的关系设计成，该微结构的直径小于等于该像源像素点阵的点距的一半。

优选地，预设的用户观察所成实像的观察距离随着该实像到对向反射元件的光程的增大而增大。

25 优选地，预设的用户观察所成实像的观察距离随着该实像到对向反射元件的光程成线性关系。

优选地，该像源像素点阵的点距这样选择，使得其随着预设的用户观察

所成实像的观察距离的增大而增大。

优选地，该像源像素点阵的点距这样选择，使得其与预设的用户观察所成实像的观察距离成正比。

根据本发明的又一个主要方面，提供一种用于在空中成像的方法，其使用包括像源、透反镜和对向反射元件的系统；该方法包括：

使像源发出的光线经过透反镜的反射之后照射到对向反射元件上；

使光线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，从而再透射过透反镜后形成实像；

其中，该对向反射元件包括大量用于对向反射的微结构，该方法还包括，
10 将微结构的半径、像源像素点阵的点距以及实像到对向反射元件的光程之间的关系设计成，使微结构的直径随着点距的增大而增大，并且光程也随着点距的增大而增大。

优选地，将该微结构的直径、该像源像素点阵的点距以及该实像到对向反射元件的光程之间的关系设计成，使该微结构的直径与该点距成线性关系，而该光程与该点距的平方成线性关系。
15

优选地，将该微结构的直径以及该实像到对向反射元件的光程之间的关系设计成，在该光程选定时，使该微结构的面积设计成与像源发出光线的波长成反比。

优选地，将该微结构的直径和该像源像素点阵的点距之间的关系设计成，使该微结构的直径小于等于该像源像素点阵的点距的一半。
20

优选地，使预设的用户观察所成实像的观察距离随着该实像到对向反射元件的光程的增大而增大。

优选地，使预设的用户观察所成实像的观察距离随着该实像到对向反射元件的光程成线性关系。

25 优选地，将该像源像素点阵的点距这样选择，使得其随着预设的用户观察所成实像的观察距离的增大而增大。

优选地，将该像源像素点阵的点距这样选择，使得其与预设的用户观察所成实像的观察距离成正比。

根据本发明的另一个主要方面，提供一种搭建用于空中成像的系统的方法，该系统包括像源、透反镜和对向反射元件，该对向反射元件包括大量用于对向反射的微结构，该方法包括：

使像源、透反镜和对向反射元件形成如下这样的光路：像源发出的光线经过透反镜的反射，照射到对向反射元件上，光线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，透射过透反镜后形成实像；

确定用户观察所成实像的观察距离；

10 基于观察距离确定该实像到对向反射元件的光程；其中该光程随该观察距离的增大而增大；

基于观察距离确定该像源像素点阵的点距；其中该点距随该观察距离的增大而增大；

15 基于该点距确定该微结构的直径；其中该微结构的直径小于等于该像源像素点阵的点距的一半。

优选地，其中该光程与该观察距离成正比例，和/或该点距与该观察距离成正比例。

20 光线偏移对光斑大小的影响不随成像距离变化，不过随着微结构的尺度而线性变化。因此可以用减小微结构单元的大小，例如超精细加工等办法来解决。而衍射造成的斑点大小是随着成像距离的变化而线性变化的，所以设法降低衍射所造成的光线发散是很关键的因素。

25 在采取通常的直角三角锥结构作为对向反射单元时，入射光线在上表面发生折射，之后入射到对向反射单元的直角三角锥上发生发射，同时因为夫朗和费衍射的原因，以一定角度发散。之后在对向反射元件的上表面再一次发生折射，形成主轴与入射光线方向相反，但是带有少量位移和一定发散角

的反射光线。

为了尽可能降低衍射所造成的光线发散对成像清晰度的不利影响，本发明还提供以下方案来以提高成像清晰度。

根据本发明的一个主要方面，提供一种对向反射元件，包括透明基体以及附着在透明基体上的反射材料，其中，光线经透明基体入射，到达反射材料并在反射材料上形成反射后，又经透明基体以相反方向沿原入射路径出射；该对向反射元件包括大量用于对向反射的微结构，每个微结构都包括一个凸透镜单元和多个直角三角锥单元，该多个直角三角锥单元在入射路径上处于该凸透镜单元的下游，该反射材料在入射路径上处于该多个直角三角锥单元
5 单元的下游，并且附着在该直角三角锥单元上；并且，该多个直角三角锥单元排列在该凸透镜单元的焦平面上。

根据本发明的另一个主要方面，提供一种对向反射元件，包括透明基体以及附着在透明基体上的反射材料，其中，光线经透明基体入射，到达反射材料并在反射材料上形成反射后，又经透明基体以相反方向沿原入射路径出射；该对向反射元件还包括凸透镜单元阵列和直角三角锥单元阵列，该直角三角锥单元阵列在入射路径上处于该凸透镜单元阵列的下游，该反射材料在入射路径上处于该直角三角锥单元阵列的下游，并且附着在该直角三角锥单元阵列上；每一个凸透镜单元都覆盖多个直角三角锥单元；并且，该多个直角三角锥单元排列在该凸透镜单元的焦平面上。

20 优选地，该凸透镜单元的表面附着有增透材料，使得其表面透过率大于 0.7、0.8 或 0.9。

优选地，该反射材料的反射率大于 0.5、0.6、0.7、0.8 或 0.9。

优选地，该凸透镜单元的直径是该直角三角锥单元边长的约 50 倍。

优选地，该凸透镜单元的直径小于等于 1mm。

25 优选地，该直角三角锥单元边长小于等于 0.02mm。

根据本发明的又一个主要方面，提供一种用于在空中成像的系统，其包

括，像源、透反镜和前文该的对向反射元件；其中，像源发出的光线经过透反镜的反射，照射到对向反射元件上，光线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，透射过透反镜后形成实像。

5 根据本发明的再一个主要方面，提供一种用于在空中成像的系统，其包括，像源、透反镜和前文该的对向反射元件；其中，像源发出的光线经过透反镜的透射，照射到对向反射元件上，光线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，经透反镜反射后形成实像。

根据本发明的又一个主要方面，提供一种用于在空中成像的系统，其包括，像源、透反镜、第一对向反射元件和第二对向反射元件；第一对向反射元件和第二对向反射元件都分别由前文该的对向反射元件形成；其中，像源发出的光线经过透反镜的反射，照射到第一对向反射元件上，光线在第一对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，透射过透反镜后形成第一实像；而，另外，像源发出的光线经过透反镜的透射，照射到第二对向反射元件上，光线在第二对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射
10 路径出射，经透反镜反射后形成第二实像。
15

根据本发明前述的空气中成像系统，像源发出的光线需经历透反镜的一次反射及一次投射（不分先后顺序），以及对向反射元件的反射然后才能成像，因此所成实像的亮度约等于像源光线亮度与透反镜的反射率、透射率、
20 以及对向反射元件的反射光效的乘积。也即，最后显像亮度 L 的近似计算公式为：

$$L = L_0 \times T_g \times R_g \times \eta$$

其中为 L_0 像源的亮度，

T_g 和 R_g 分别为透反镜的透射率和反射率，

25 η 为对向反射元件的反射光效。

对于通常的透反镜，在不考虑基材对光能量的吸收的情况下，反射率与

透射率之和应为 100%，也即，存在如下的近似关系：

$$T_g = (1 - R_g)$$

则

$$T_g \times R_g = (1 - R_g) \times R_g \leq 25\%$$

5 可以看出，透反镜的光效小于等于 1/4，是比较低的。

基于此，本发明还提出用于提高光效、增强显像亮度的技术以及相应的空气中成像装置。

根据本发明的一个主要方面，提供一种用于在空中成像的系统，其包括，像源、透反镜和对向反射元件；其中

10 像源发出的光线经过透反镜的反射，照射到对向反射元件上，光线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，透射过透反镜后形成实像；

其中，所述像源使用 s 偏振光源；在所述透反镜朝向所述像源的一侧，镀有选透膜，所述选透膜设置成对 s 偏振光的反射率较高，而 p 偏振光的透射率较高；
15

在所述对向反射元件朝向所述透反镜的一侧设有相位延迟光学元件，使得从所述透反镜射向所述对向反射元件的 s 偏振光源在经过所述相位延迟光学元件后，变为圆偏振光。

20 优选地，所述选透膜的成分包括金属氧化物、金属氮化物、金属氮氧化物镀膜和有机聚合物中的一种。

优选地，所述选透膜包括一个或多个膜层，每个膜层的成分都包括金属氧化物、金属氮化物、金属氮氧化物镀膜、和有机聚合物中的一种。

25 优选地，所述像源选用特定波段的 s 偏振光，而所述选透膜设置成对该特定波段的 s 偏振光的反射率较高，而对其他波段的 s 偏振光以及可见光波段内的 p 偏振光的透射率较高。

优选地，所述选透膜对所述 s 偏振光的平均反射率大于 70%、80% 或 90%。

优选地，所述选透膜对所述 p 偏振光的平均透射率的大于 70%、80%或 90%。

优选地，所述相位延迟光学元件是 1/4 波片。

优选地，在所述透反镜的背向所述像源的一侧附有增透膜。

5 根据本发明的另一个主要方面，提供一种用于在空中成像的系统，其包括，像源、透反镜和对向反射元件；其中

像源发出的光线经过透反镜的透射，照射到对向反射元件上，光线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，经透反镜反射后形成实像；

10 其中，所述像源使用 p 偏振光源；在所述透反镜朝向所述像源的一侧，镀有选透膜，所述选透膜设置成对 s 偏振光的反射率较高，而 p 偏振光的透射率较高；

在所述对向反射元件朝向所述透反镜的一侧设有相位延迟光学元件，使得从所述透反镜射向所述对向反射元件的 p 偏振光源在经过所述相位延迟
15 光学元件后，变为圆偏振光。

进一步研究可以发现，对向反射元件的反射光效除了与反射面的反射率有关外，还与入射到对向反射单元的光线角度、以及对向反射单元的形状结构等因素有关。

20 定义与对向反射单元的三条棱角度均相等（约为 54.7° ）的直线为中心线，经研究发现，与中心线方向夹角越小的入射光线，其反射光效越高；反之，与中心线方向夹角越大的入射光线，其反射光效越低。

基于对于显像亮度和显像清晰度的分析，为了提高空气中显像的亮度和清晰度，我们提出了如下的结构设计：将对向反射元件分割成若干小片，按
25 一定规律离散地分布在透反镜的一侧。

基于此，本发明还提供一种用于在空中成像的系统，其包括，像源、透

反镜和对向反射元件；其中

像源发出的光线经过透反镜的反射，照射到对向反射元件上，光线在该对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，透射过该透反镜后形成实像；

5 其中，该对向反射元件由包括多个对向反射子元件的阵列形成；该对向反射子元件每个都包括基本为平面形状的基材，以及分布在基材上的大量带反射面的对向反射单元；该对向反射单元是直角顶点微结构，该直角顶点微结构带至少一个直角顶点，该直角顶点的三条棱互成直角；该直角顶点微结构的中心线与该基材平面的法线的夹角小于 15 度，其中该中心线与该直角
10 顶点微结构三条棱所成角度均相等；

在该系统的侧视图上看去，具有能够看到完整的该实像的完整实像视域，该完整实像视域具有交点为视域点的两条视域边界线；该阵列包括距离该透反镜距离较近的阵列第一端和距离该透反镜距离较远的阵列第二端；该视域边界线的反向延长线与该透反镜交于离该阵列第一端较近的透反镜第
15 一点以及离该阵列第一端较远的透反镜第二点；该像源发出的光线具有位于该像源与该透反镜之间的有效照射区域，该有效照射区域包括第一边界线和第二边界线，其中该第一边界线为该透反镜第一点到该像源的各发光点的连线中与该透反镜夹角最大的连线，而该第二边界线为该透反镜第二点到该像源的各发光点的连线中与该透反镜夹角最小的连线；

20 并且，该对向反射子元件的阵列设置成，该对向反射子元件不遮挡该像源入射到该透反镜的光线，而形成该实像的所有光线的反向延长线都能够落在某一个对向反射子元件上。

优选地，在该系统的侧视图上看去，该对向反射子元件都包括子元件第一端和子元件第二端；其中，每个子元件第一端都落在该第一边界线上或落
25 在该有效照射区域之外，而每个子元件第二端都落在该有效照射区域之外。

优选地，在该系统的侧视图上看去，该对向反射子元件都包括子元件第

一端和子元件第二端；其中，每个子元件第一端都落在该第一边界线上，而该对向反射子元件的几何中心与该视域点的连线与该对向反射子元件上的该直角顶点微结构的中心线所成夹角小于 15 度。

5 优选地，在该系统的侧视图上看去，该对向反射子元件都包括子元件第一端和子元件第二端；其中，每个子元件第一端都落在该第一边界线上，而该对向反射子元件的几何中心与该视域点的连线与该中心线夹角为 0 度。

10 优选地，在该系统的侧视图上看去，将该阵列的所有对向反射子元件按照离该透反镜第一点的距离由近至远排序，定义离该透反镜第一点的距离最近的对向反射子元件的位置为最前，离该透反镜第一点的距离最远的对向反射子元件的位置为最后，其中，相邻两个对向反射子元件中，前一个对向反射子元件的子元件第二端与后一个对向反射子元件的子元件第一端设置成，前者与该视域点的连线和该第一边界线的交点位于后者与该视域点的连线和该第一边界线的交点的后方，或者与其重叠。

15 优选地，该直角顶点微结构的中心线与该基材平面的法线的夹角为小于 10 度或小于 5 度。

优选地，该直角顶点微结构的中心线与该基材平面的法线的夹角为 0 度，且该直角顶点微结构三条棱的棱长相等。

另外，本发明还提供一种用于在空中成像的系统，其包括，像源、透反镜和对向反射元件；其中

20 像源发出的光线经过透反镜的透射，照射到对向反射元件上，光线在该对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，经该透反镜反射后形成实像；

25 其中，该对向反射元件由包括多个对向反射子元件的阵列形成；该对向反射子元件每个都包括基本为平面形状的基材，以及分布在基材上的大量带反射面的对向反射单元；该对向反射单元是直角顶点微结构，该直角顶点微结构带至少一个直角顶点，该直角顶点的三条棱互成直角；该直角顶点微结

构的中心线与该基材的平面的法线的夹角小于 15 度，其中该中心线与该直角顶点微结构三条棱所成角度均相等；

在该系统的侧视图上看去，具有能够看到完整的该实像的完整实像视域，该完整实像视域具有交点为视域点的两条视域边界线；该阵列包括距离该透反镜距离较近的阵列第一端和距离该透反镜距离较远的阵列第二端；该视域边界线的反向延长线与该透反镜交于离该阵列第一端较近的透反镜第一点以及离该阵列第一端较远的透反镜第二点；该像源发出的光线具有位于该像源与该透反镜之间的有效照射区域，该有效照射区域包括第一边界线和第二边界线，其中该第一边界线为该透反镜第一点到该像源的各发光点的连线中与该透反镜夹角最大的连线，而该第二边界线为该透反镜第二点到该像源的各发光点的连线中与该透反镜夹角最小的连线；定义第三边界线为与该第一边界线关于该透反镜镜像对称的线，并且定义有效成像区域为与该有效照射区域关于该透反镜镜像对称的区域，又定义虚拟视域点为与该视域点关于该透反镜镜像对称的点；

并且，该对向反射子元件的阵列设置成，该对向反射子元件不遮挡该透反镜射向该实像的光线，而该透反镜射向该实像的光线在该透反镜上的入射光线的反向延长线都能够落在某一个对向反射子元件上。

优选地，在该系统的侧视图上看去，该对向反射子元件都包括子元件第一端和子元件第二端；其中，每个子元件第一端都落在该第三边界线上或落在该有效成像区域之外，而每个子元件第二端都落在该有效成像区域之外。

优选地，在该系统的侧视图上看去，该对向反射子元件都包括子元件第一端和子元件第二端；其中，每个子元件第一端都落在该第三边界线上，而该对向反射子元件的几何中心与该虚拟视域点的连线与该中心线所成夹角小于 15 度。

优选地，在该系统的侧视图上看去，该对向反射子元件都包括子元件第一端和子元件第二端；其中，每个子元件第一端都落在该第三边界线上，而

该对向反射子元件的几何中心与该虚拟视域点的连线与该中心线夹角为 0° 。

优选地，在该系统的侧视图上看去，将该阵列的所有对向反射子元件按照离该透反镜第一点的距离由近至远排序，定义离该透反镜第一点的距离最近的对向反射子元件的位置为最前，离该透反镜第一点的距离最远的对向反射子元件的位置为最后，其中，相邻两个对向反射子元件中，前一个对向反射子元件的子元件第二端与后一个对向反射子元件的子元件第一端设置成，前者与该虚拟视域点的连线和该第三边界线的交点位于后者与该虚拟视域点的连线和该第三边界线的交点的后方，或者与其重叠。

本发明又提供一种用于在空中成像的系统，其包括，像源、透反镜和对向反射元件；其中

像源发出的光线经过透反镜的反射，照射到对向反射元件上，光线在该对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，透射过该透反镜后形成实像；

其中，该对向反射元件由包括多个对向反射子元件的阵列形成；该对向反射子元件每个都包括基本为平面形状的基材，以及分布在基材上的大量带反射面的对向反射单元；该对向反射单元是直角顶点微结构，该直角顶点微结构带至少一个直角顶点，该直角顶点的三条棱互成直角；该直角顶点微结构的中心线与该基材平面的法线的夹角小于 15° ，其中该中心线与该直角顶点微结构三条棱所成角度均相等；

在该系统的侧视图上看去，具有能够看到完整的该实像的完整实像视域，该完整实像视域具有交点为视域点的两条视域边界线；各该对向反射子元件的几何中心与该视域点的连线与该对向反射子元件上的该直角顶点微结构的中心线所成夹角都小于 15° 。

优选地，各该对向反射子元件的几何中心与该视域点的连线与该中心线夹角都为 0° 。

优选地，该对向反射子元件的阵列设置成，该对向反射子元件不遮挡该像源入射到该透反镜的光线，并且/或者形成该实像的所有光线的反向延长线都能够落在某一个对向反射子元件上。

5 优选地，在该系统的侧视图上看去，该阵列包括距离该透反镜距离较近的阵列第一端和距离该透反镜距离较远的阵列第二端；该视域边界线的反向延长线与该透反镜交于离该阵列第一端较近的透反镜第一点以及离该阵列第一端较远的透反镜第二点；该像源发出的光线具有位于该像源与该透反镜之间的有效照射区域，该有效照射区域包括第一边界线和第二边界线，其中该第一边界线为该透反镜第一点到该像源的各发光点的连线中与该透反镜
10 夹角最大的连线，而该第二边界线为该透反镜第二点到该像源的各发光点的连线中与该透反镜夹角最小的连线；该对向反射子元件都包括子元件第一端和子元件第二端；其中，每个子元件第一端都落在该第一边界线上或落在该有效照射区域之外，而每个子元件第二端都落在该有效照射区域之外。

优选地，在该系统的侧视图上看去，将该阵列的所有对向反射子元件按
15 照离该透反镜第一点的距离由近至远排序，定义离该透反镜第一点的距离最近的对向反射子元件的位置为最前，离该透反镜第一点的距离最远的对向反射子元件的位置为最后，其中，相邻两个对向反射子元件中，前一个对向反射子元件的子元件第二端与后一个对向反射子元件的子元件第一端设置成，前者与该视域点的连线
20 和该第一边界线的交点位于后者与该视域点的连线和该第一边界线的交点的后方，或者与其重叠。

优选地，该直角顶点微结构的中心线与该基材平面的法线的夹角为小于10度或小于5度。

优选地，该直角顶点微结构的中心线与该基材平面的法线的夹角为0度，且该直角顶点微结构三条棱的棱长相等。

25 本发明还提供一种用于在空中成像的系统，其包括，像源、透反镜和对向反射元件；其中

像源发出的光线经过透反镜的透射，照射到对向反射元件上，光线在该对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，经该透反镜反射后形成实像；

其中，该对向反射元件由包括多个对向反射子元件的阵列形成；该对向
5 反射子元件每个都包括基本为平面形状的基材，以及分布在基材上的大量带反射面的对向反射单元；该对向反射单元是直角顶点微结构，该直角顶点微结构带至少一个直角顶点，该直角顶点的三条棱互成直角；该直角顶点微结构的中心线与该基材的平面的法线的夹角小于 15 度，其中该中心线与该直角顶点微结构三条棱所成角度均相等；

10 在该系统的侧视图上看去，具有能够看到完整的该实像的完整实像视域，该完整实像视域具有交点为视域点的两条视域边界线；定义虚拟视域点为与该视域点关于该透反镜镜像对称的点，而各该对向反射子元件的几何中心与该虚拟视域点的连线与该中心线所成夹角都小于 15 度。

优选地，各该对向反射子元件的几何中心与该虚拟视域点的连线与该中
15 心线夹角都为 0° 。

优选地，该对向反射子元件的阵列设置成，该对向反射子元件不遮挡该透反镜射向该实像的光线，并且/或者，该透反镜射向该实像的光线在该透反镜上的入射光线的反向延长线都能够落在某一个对向反射子元件上。

优选地，在该系统的侧视图上看去，该阵列包括距离该透反镜距离较近
20 的阵列第一端和距离该透反镜距离较远的阵列第二端；该视域边界线的反向延长线与该透反镜交于离该阵列第一端较近的透反镜第一点以及离该阵列第一端较远的透反镜第二点；该像源发出的光线具有位于该像源与该透反镜之间的有效照射区域，该有效照射区域包括第一边界线和第二边界线，其中该第一边界线为该透反镜第一点到该像源的各发光点的连线中与该透反镜
25 夹角最大的连线，而该第二边界线为该透反镜第二点到该像源的各发光点的连线中与该透反镜夹角最小的连线；定义第三边界线为与该第一边界线关于

该透反镜镜像对称的线，并且定义有效成像区域为与该有效照射区域关于该透反镜镜像对称的区域；该对向反射子元件都包括子元件第一端和子元件第二端；其中，每个子元件第一端都落在该第三边界线上或落在该有效成像区域之外，而每个子元件第二端都落在该有效成像区域之外。

5 优选地，在该系统的侧视图上看去，将该阵列的所有对向反射子元件按照离该透反镜第一点的距离由近至远排序，定义离该透反镜第一点的距离最近的对向反射子元件的位置为最前，离该透反镜第一点的距离最远的对向反射子元件的位置为最后，其中，相邻两个对向反射子元件中，前一个对向反射子元件的子元件第二端与后一个对向反射子元件的子元件第一端设置成，
10 前者与该虚拟视域点的连线 and 该第三边界线的交点位于后者与该虚拟视域点的连线 and 该第三边界线的交点的后方，或者与其重叠。

由于采用离散式的排布方式，有利于针对各对向反射子元件减小入射光线与对向反射单元中心线的夹角；夹角越小，则成像亮度越高。不仅如此，还有利于缩短各对向反射子元件到实像的光程；而光程越短，则成像清晰度
15 越高。

应当理解，以上虽然在各主要方面之下分别记载了多个优选特征，但是这些优选特征并非只能用于该主要方面，而是在合适的情况下可以也用于其他主要方面；除了有特别说明的情形外，这些特征都可以单独地或者相结合
20 地使用。

本发明的开创性的使用例如对向反射膜和透反镜面的组合，将虚像变成实像，从而实现空中的成像。本发明的优点在于：不需要借助任何介质（例如屏幕，含有微小颗粒的气体或液体等），可以直接在空气，甚至真空中中呈现影像；也不需要借助头盔，眼镜等其他辅助设备，可以多人同时观看影
25 像；另外，图像是漂浮在空中的，可以直接用手触摸，因此可以延伸出非常多的交互应用。

附图说明

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，下面将对实施例或现有技术描述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描述本发明的一部分实施例。这些附图对于本发明来说并不是限制性的，而是起示例性的作用。其中，

图 1 示意性地显示了根据本发明的一个实施形式的成像系统；

图 2 示意性地显示了根据本发明的另一个实施形式的成像系统；

图 3 示意性地显示了根据本发明的一个实施形式的对向反射元件；

10 图 4 示意性地显示了根据本发明的一个实施形式的对向反射元件的微结构及对向反射路径示意图；

图 5 示意性地显示了根据本发明的另一个实施形式的对向反射元件；

图 6A、6B 和 6C 示意性地显示了根据本发明的另一个实施形式的对向反射元件的微结构及对向反射路径示意图；

15 图 7 示意性地显示了根据本发明的又一个实施形式的对向反射元件；

图 8 示意性地显示了根据本发明的又一个实施形式的对向反射元件的微结构及对向反射路径示意图；

图 9 以顶视图的方式示意性地显示了根据本发明的一个实施形式的对向反射元件的微结构的分布；

20 图 10 显示了根据本发明的一个实施形式的采取直角三角锥结构作为对向反射单元时的光路示意图；

图 11 则显示了根据本发明的一个实施形式的结合直角三角锥结构与凸透镜结构作为对向反射单元时的光路示意图；

25 图 12 示意性地显示了根据本发明的一个实施形式的用于提高显像亮度的成像系统；

图 13 示意性地显示了根据本发明的另一个实施形式的用于提高显像亮

度的成像系统；

图 14a 和图 14b 示意性地显示了根据本发明的一个实施形式的用于提高显像亮度和清晰度的成像系统；以及

图 15a 和图 15b 示意性地显示了根据本发明的另一个实施形式的用于提高显像亮度和清晰度的成像系统。

具体实施方式

为使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚，下面结合附图对本发明作进一步的详细描述。

10 为了描述上的简洁和直观，下文通过描述若干代表性的实施方式来对本发明的方案进行阐述。实施方式中大量的细节仅用于帮助理解本发明的方案。但是很明显，本发明的技术方案实现时可以不局限于这些细节。为了避免不必要地模糊了本发明的方案，一些实施方式没有进行细致地描述，而是仅给出了框架。下文中，“包括”是指“包括但不限于”，“根据……”是指“至少根据……，但不限于仅根据……”。“第一”、“第二”等仅用于
15 对特征的指代，而并不意图对该特征进行任何限制、例如顺序上的限制。由于汉语的语言习惯，下文中没有特别指出一个成分的数量时，意味着该成分可以是一个也可以是多个，或可理解为至少一个。

图 1 显示了根据本发明的一个实施形式的成像系统。如图所示，该系统
20 包括像源 1、透反镜 2 和对向反射元件 3；透反镜 2 所处的平面将空间分为第一半区 I 和第二半区 II，像源 1 和对向反射元件 3 都处在第一半区 I 中。

其中，像源 1 发出的光线经过透反镜 2 的反射，照射到对向反射元件 3 上，光线在对向反射元件 3 上发生对向反射，使得对向反射元件 3 上的反射光线与入射光线处于同一条路径上，只是方向相反。因此，光线经对向反射
25 元件 3 反射后沿原入射路径出射（当然，从微观上观察，可以认为反射路径和入射路径略有偏移；然而，从宏观上观察，可以认为两条路径是完全重合

的)，再经透反镜透射后，在第二半区 II 形成实像 4。

像源 1 既可以是显示成像设备，也可以是由这些显示成像设备所形成的虚像或者实像。

例如，显示成像设备可以是液晶屏幕，液晶屏幕的背光光源包括激光、发光二极管、有机发光二极管、受激荧光发光材料、量子点激发光源中的一种或多种；显示成像设备也可以是由 LED、OLED、等离子发光点等发光点光源组成的主动发光的点阵屏幕；显示成像设备也可以是基于例如 DLP，LCOS，LCD 等投影技术，由 LED、OLED、激光、荧光等光源或其组合驱动，经 DMD，LCOS，LCD 等显示面板反射或透射，再经投影镜头投射在投影屏幕上成像的投影成像系统；显示成像设备还可以是激光束在屏幕上扫描成像的投影成像系统。并且，以上所述的所有显示成像设备，经由一次或多次折射或反射所成的实像或虚像也都可作为像源。

优选的实施形式中下，像源 1 可以是立体像源。立体像源包括可以显示 3D 立体的图像、结构和视频源的三维立体显示设备。这种三维立体显示设备通常包括控制模组与高速投影模组或高速显示模组，由控制模组控制投影模组或显示模组将一系列的 2D 图像切片高速的投影或显示到多个光学平面上，以使得观察者观察到三维立体的图像、结构或视频。三维立体显示设备包括平移扫描成像系统，旋转扫描成像系统等。

透反镜可以是由各种合适的透明材料制成的，如 PC 树脂、PET 树脂、PMMA 树脂、玻璃、石英等。其透射率在 20%-80% 之间；优选地，约为 50%。其反射率也在 20%-80% 之间；优选地，也约为 50%。

对向反射元件 3 优选地是分布有微结构的薄膜、幕布、板材或树脂，其最好具有一定弧度，朝向透反镜的弯曲，这样可以增加成像的亮度。下文中将详细介绍对向反射元件 3。

参见图 2，在本发明的另一个实施形式中，系统包括像源 1、透反镜 2 和对向反射元件 3；透反镜 2 所处的平面将空间分为第一半区 I 和第二半区

II, 像源 1 处在第一半区 I 中, 而对向反射元件 3 处在第二半区 II 中。

其中, 像源 1 发出的光线经过透反镜 2 的透射, 照射到对向反射元件 3 上, 光线在对向反射元件 3 上发生对向反射, 使得对向反射元件 3 上的反射光线与入射光线处于同一条路径上, 只是方向不同。因此, 光线经对向反射元件 3 反射后沿原入射路径出射, 再经透反镜反射后, 在第二半区 II 形成实像 4。

当然, 需要理解, 由于光具有波粒二象性, 光线从对向反射元件 3 反射时, 会存在一定的衍射效应, 反射光会产生一定的发散角; 在这个角度理解时, 只要反射光的主轴与入射光方向相反, 也是满足本发明中“对向反射”的含义的。

在这个实施形式中, 像源 1 发出的光线经透反镜 2 的透射(而非经过反射)后到达对向反射元件 3。而经对向反射元件 3 反射的光线再经由透反镜 2 反射(而非透射)后, 生成实像 4。最后所成的实像 4 和对向反射元件 3 位于同一半区, 而非不同的半区。

在本发明的又一个实施形式中(未示出), 将上述两个实施形式结合, 采用两个对向反射元件, 使像源发出的光线经透反镜的反射后到达其中一个对向反射元件, 而经对向反射元件反射的光线再经由透反镜透射后, 生成实像; 像源发出的光线经透反镜的透射后到达另一个对向反射元件, 而经该另一个对向反射元件反射的光线再经由透反镜反射后, 生成实像。这使得所生成的两个实像重叠在一起, 这样得到亮度更强的成像。

当然, 应当明白, 在其他实施方式中, 附加地或者替代地, 可以使用两个像源。这时需要调整这两个像源与透反镜和对向反射元件的位置, 使得其最后所成的实像在空间中重叠在一起。

本发明中的对向反射元件是经特殊处理的元件, 它包括例如涂有高反射涂层的基材, 以及例如均匀地分布在基材上的对向反射微结构。该高反射涂层的反射率达 60% 以上, 优选地, 达 70%、80% 或 90% 以上。应当明白, 该

高反射涂层也可以是以其他方式附着在基材上的，例如镀膜。

当然，该高反射涂层可以例如附在微结构朝向基材的面上，或是附在微结构与基材交界的区域上。

应当理解，对向反射微结构在基材上的分布也可以是不均匀的，均匀的分布会有更好的成像效果；不过一些刻意布置的不均匀分布可以用于特殊的成像目的。

参见图 3，其中显示了根据本发明的一个实施形式的对向反射元件。该对向反射元件 3 包括作为基材 30 的薄膜或幕布。基材 30 上涂有高反射涂层。另外，在基材 30 上还均匀地分布有球状微结构 31。

参见图 4，其中显示了球状微结构的放大图及对向反射路径的示意图。

光线从透反镜经球状微结构 31 的上表面折射后射向基材 30 的高反射涂层，经反射后，射回球状微结构 31 的上表面，再次折射，射向透反镜。球状微结构 31 的结构使得光线能够几乎经由原路返回透反镜（如前所述，在宏观环境下观察，可以认为光线就是沿原路返回）。

参见图 5，其中显示了根据本发明的另一个实施形式的对向反射元件。该对向反射元件 3 的基材 30 上还均匀地分布有直角顶点微结构 31'。直角顶点微结构 31' 可以是嵌入在基材 30 上的、透明的、带至少一个顶点且该顶点的三条棱互成直角的微结构体，例如微立方体或是微长方体，或者是它们的含至少一个顶点的一部分，当然，该至少一个顶点是嵌入在基材 30 中的（参见图 6A）。在一些实施方式中，直角顶点微结构 31' 是三条棱互成直角的微三角锥体，其顶点嵌入在基材 30 中（参见图 6B）；优选地，顶点所对的底面与基材 30 平齐；更优选地，在该底面上还附有增透膜。在更加优选地实施形式中，三条棱所形成的三个面中至少有一个面与该底面面的夹角小于 54 度。

应当理解，这三条棱可以是等长的，当然也可以是不等长的。棱的长度可以在 20 微米~5 毫米之间选择。优选地，三条棱中，最长的棱长度不超

过最短的棱长度的 10 倍。

还应当理解，三条棱所形成的三个面也应该是互相垂直的，也即三个面两两之间的二面角大小应为 90 度，不过由于工艺的制约，即使这些二面角大小不是精确的 90 度，而是在加工允许的误差范围内，例如 ± 2 分，也是可以满足本发明的要求的。

在另一个实施形式中，该直角顶点微结构 31' 可以是由上述微结构体的一个顶点的一部分压印在基材 30 上而形成的凹陷部（参见图 6C）。

图 6A、6B 和 6C 显示了图 5 中的直角顶点微结构的放大图及对向反射路径的示意图。在图 6A 和 6B 所示的实施形式中，直角顶点微结构 31' 是透明的微结构体。光线从透反镜经直角顶点微结构 31' 的入射表面（例如上表面）折射后射向薄膜或幕布 30 的高反射涂层，经三次反射后，射回直角顶点微结构 31' 的出射表面（例如上表面），再次折射，射向透反镜。在图 6C 所示的实施形式中，直角顶点微结构 31' 为凹陷部，光线在通过透反镜透射或反射后，直接入射到凹陷部上，经三次反射后，射向透反镜。直角顶点微结构 31' 的结构使得光线能够几乎经由原路返回透反镜（同样，在宏观环境下观察，可以认为光线就是沿原路返回）。

图 7 显示了本发明的又一个实施形式的对向反射元件。该对向反射元件 3 的基材 30' 上均匀地分布有直角顶点微结构 31'。基材 30' 自身是透明的基材，直角顶点微结构 31' 也是透明的微结构体。直角顶点微结构 31' 与基材 30' 相背离的那些面上涂有高反射涂层。

直角顶点微结构 31' 优选地与基材 30' 一体地形成；当然，也可以是分开制成然后附在基材 30' 上。优选的情况下，基材 30' 的材料与直角顶点微结构 31' 的材料是一样的，或至少具有相同的折射率。

图 8 显示了图 7 中的直角顶点微结构的放大图及对向反射路径的示意图。光线从透反镜经基材 30' 的上表面折射后射向直角顶点微结构 31' 的高反射涂层，经三次反射后，射回基材 30' 的上表面，再次折射，射向透反镜。

直角顶点微结构 31' 的结构使得光线能够几乎经由原路返回透反镜（如前所述，在宏观环境下观察，可以认为光线就是沿原路返回）。

图 9 以顶视图的方式示意性地显示了根据本发明的一个实施形式的对向反射元件上的微结构的分布，以更好地理解微结构的分布情况。如图所示，多个微结构依次紧邻彼此分布，在对向反射元件上延伸。应当理解，图中显示的对向反射元件的局部，微结构可以在整个对向反射元件上作这样的分布。另外，虽然本图中显示的微结构是类似于长方体的凹陷部，应当理解，微结构的形状并不局限于此，而可以是上文中所述的任一种微结构。

如上所述，对向反射元件在微观上还是会对光线的反射路径和入射路径造成一定偏移；同时，光的衍射效应会使反射光产生一定的发散角。这两点是影响本发明空中成像的清晰度的两个核心因素，而这两种因素也是相互制约的。对向反射元件的微结构尺寸越小，则造成的光线偏移越小，但是衍射造成的光斑则越大；相反的，如果微结构尺寸越大，则衍射造成的光斑越小，但是造成的光线偏移越大。为了克服这两种相互制约的关系对成像清晰度的不利影响，本发明对微结构的直径、像源像素点阵的点距以及实像到对向反射元件的光程之间的尺寸关系做出了特定设计。

通常来说，观察者观察所成实像的观察距离随着实像到对向反射元件的光程的增大而增大，优选地两者基本上成线性关系。对于观察者来说，考虑到其舒适的观看视角，所成实像的画面宽度优选地是其观察距离的例如 1 至 2 倍；而如果观察者想获取足够清晰的实像，那么其所观察到的像素点需要满足一定数量，例如，在每个维度上具有至少 1024 个像素点；由此可以推算所选用的像源的点距应是多少（像源的点距决定了所成实像的光斑的大小）。考虑到空气中成像的视觉效果，在本发明中，微结构的直径设置成与像源点距为同样数量级，优选地为像源点距的约 $1/5$ 、 $1/4$ 、 $1/3$ 、 $1/2$ ，或者等于像源点距。因此，可以根据实际应用场景的观察距离来选择光程和光源

(如果是点阵光源的话)的点距,从而进一步选择微结构的尺寸。

在一个示例中,如果是例如大型广告展示等应用场景,比较合适的观察距离约为 5m,可以选择光程为 2m 或稍长的成像系统,而比较合适的实像画面长度约为 5m,这时如果希望达到 1024 像素的分辨率,可以使用点距在 5mm 左右的点阵像源,那么经过计算可得微结构的优选尺寸范围为 0.6mm~4.4mm,更优选尺寸约为 1.7mm。

在另一个示例中,如果是例如普通尺寸广告展示等应用场景,比较合适的观察距离为 1m 或以上,可以选择光程为约 0.5m 的成像系统,而比较合适的实像画面长度约为 2m,这时如果希望达到 1024 像素的分辨率,可以使用点距在 2mm 左右的点阵像源,那么经过计算可得微结构的优选尺寸范围为 0.43mm~1.57mm,更优选尺寸约为 0.82mm。

在有一个示例中,如果是近距离或者小尺寸显示等应用场景,比较合适的观察距离为 0.5m 或更小,可以选择光程为约 0.1m 的成像系统,而比较合适的实像画面长度约为 1m,这时如果希望达到 1024 像素的分辨率,可以使用点距在 0.5mm 左右的点阵像源,那么经过计算可得微结构的优选尺寸范围为 0.16mm~0.84mm,更优选尺寸约为 0.37mm。

如上所述,对向反射元件在微观上还是会对光线的反射路径和入射路径造成一定偏移;同时,光的衍射效应会使反射光产生一定的发散角。光线偏移对光斑大小的影响不随成像距离变化,不过随着微结构的尺度而线性变化。因此可以用减小微结构单元的大小,例如超精细加工等办法来解决。而衍射造成的斑点大小是随着成像距离的变化而线性变化的,所以设法降低衍射所造成的光线发散是很关键的因素。

如图 10 中示意性所示,在采取直角三角锥结构作为对向反射单元时,入射光线在上表面发生折射,之后入射到对向反射单元的直角三角锥上发生发射,同时因为夫朗和费衍射的原因,以一定角度发散。之后在对向反射元

件的上表面再一次发生折射，形成主轴与入射光线方向相反，但是带有少量位移和一定发散角的反射光线。

为了尽可能降低衍射所造成的光线发散对成像清晰度的不利影响，本发明对对向反射单元做出新的设计以降低衍射造成的发散。

5 如图 11 所示，在一个实施形式中，将对向反射单元的基体部分分为两个主要部分。在基体部分的上部，也即朝向透反镜的那一侧，使用凸透镜结构，形成凸透镜阵列。而在基体部分的下部，即远离透反镜的那一侧，使用直角三角锥结构，形成直角三角锥阵列。整个基体部分使用透明基材。同时基体部分的厚度设计成使得下部的直角三角锥结构排列在上部的凸透镜的
10 焦平面上。

在基体部分的下表面，也即直角三角锥结构的下表面或者说外侧，镀有高反射材料层。由此，入射光线在基体部分的上表面，也即凸透镜结构的上表面或者说外侧，发生折射；之后入射到直角三角锥上，在其下表面发生多次反射，同时因为夫朗和费衍射的原因，以一定对角度发散；之后在对向反
15 射元件的上表面再一次发生折射，因为凸透镜聚焦的原理，这次折射使带有一定散射的光线聚拢，以接近平行光的形式发射出去。由此，降低了衍射造成的发散，即使在成像距离较长的情况下也能够减小衍射造成的斑点尺寸。

在这个实施形式中，凸透镜阵列中的每一个凸透镜结构的直径为约 1mm，最好在 1mm 以下；而直角三角锥阵列中的每一个直角三角锥结构都为等边直角三角锥结构，其底面为等边三角形；该底面的边长为约 0.02mm，
20 最好在 0.02mm 以下。一般情况下，一个凸透镜结构对应数十个直角三角锥结构；然而，一个凸透镜结构对应一个直角三角锥结构的情况也是可以考虑的。

在这个实施形式中，基体部分下表面所镀有的反射材料层的反射率达
25 60%以上，优选地，达 70%、80%或 90%以上。

在一个优选的实施形式中，基体部分上表面还镀有增透材质，使得该表

面的透过率达 70%以上。更优选地，达 80%或 90%以上。

如上所述，图 1 和图 2 中所示的空气中成像系统，像源发出的光线需经历透反镜的一次反射及一次投射（不分先后顺序），以及对向反射元件的反射然后才能成像。最后显像亮度 L 的近似计算公式为：

$$L = L_0 \times T_g \times R_g \times \eta$$

其中为 L_0 像源的亮度，

T_g 和 R_g 分别为透反镜的透射率和反射率，

η 为对向反射元件的反射光效。

对于通常的透反镜，在不考虑基材对光能量的吸收的情况下，存在如下的近似关系：

$$T_g = (1 - R_g)$$

则

$$T_g \times R_g = (1 - R_g) \times R_g \leq 25\%$$

由此可以得出，透反镜的光效小于等于 1/4。

为了提高显像亮度，本发明还提出一种用于提高光效、增强显像亮度的技术。图 12 显示了根据该技术的用于提高显像亮度的成像系统的一个实施形式。

与图 1 所示的实施形式类似，该系统包括像源 1、透反镜 2 和对向反射元件 3；透反镜 2 所处的平面将空间分为第一半区 I 和第二半区 II，像源 1 和对向反射元件 3 都处在第一半区 I 中。

其中，像源 1 发出的光线经过透反镜 2 的反射，照射到对向反射元件 3 上，光线在对向反射元件 3 上发生对向反射，使得对向反射元件 3 上的反射光线与入射光线处于同一条路径上，只是方向相反。因此，光线经对向反射元件 3 反射后沿原入射路径出射（当然，从微观上观察，可以认为反射路径和入射路径略有偏移；然而，从宏观上观察，可以认为两条路径是完全重合

的)，再经透反镜透射后，在第二半区 II 形成实像 4。

像源 1 使用 s 偏振光源；在透反镜 2 朝向像源 1 的一侧，镀有选透膜，选透膜设置成对 s 偏振光的反射率较高，而 p 偏振光的透射率较高。选透膜可以是单独的膜层，也可以是多个膜层叠加。选透膜的成分选自特殊的金属氧化物、金属氮化物、金属氮氧化物镀膜，氟化物，以及/或者有机聚合物；
5 可以是五氧化二钽、二氧化钛、氧化镁、氧化锌、氧化锆、二氧化硅、氟化镁、氮化硅、氮氧化硅、氟化铝中的一种或多种。

如图 12 所示，在对向反射元件 3 朝向透反镜 2 的一侧还设有相位延迟光学元件 5，优选是 1/4 波片，使得从透反镜 2 射向对向反射元件 3 的 s 偏振光源在经过相位延迟光学元件 5 后，变为圆偏振光。圆偏振光再经过对向
10 反射元件 3 反射后，又经过相位延迟光学元件 5，这时圆偏振光会变为 p 偏正光。

选透膜对 s 偏振光的平均反射率大于 70%、优选地大于 80%、甚至大于 90%；而其对 p 偏振光的平均透射率的大于 70%、优选地大于 80%、甚至大
15 于 90%。

以选透膜对 s 偏振光的平均反射率大于 70%而对 p 偏振光的平均透射率的也大于 70%为例，光线在经过透反镜时，其光效应大于

$$T_g \times R_g \approx 70\% \times 70\% = 49\%$$

这与前述系统中例如 25%的光效相比，提高了近一倍。则最终显像亮度
20 也提高了近一倍。

在优选的实施形式中，像源 1 选用可以特定波段的 s 偏振光，而选透膜也设置成对该特定波段的 s 偏振光的反射率较高，而对其他波段的 s 偏振光以及可见光波段内的 p 偏振光的透射率较高。例如，对该特定波段的 s 偏振光的平均反射率大于 80%、甚至大于 90%，而对于其他波段的 s 偏振光以及
25 可见光波段内的 p 偏振光的平均透射率大于 80%、甚至大于 90%。该特定波段可以是例如 590nm~690nm 的红色光、500nm~565nm 的绿色光、410nm~

480nm 的蓝色光。

以选透膜对特定波段的 s 偏振光的平均反射率大于 80%，而与可见光波段内的 p 偏振光的平均透射率大于 80% 为例，光线在经过透反镜时，其光效应大于

$$T_g \times R_g \approx 80\% \times 80\% = 64\%$$

这与前述系统中例如 25% 的光效相比，提高了近 1.6 倍。则最终显像亮度也提高了近 1.6 倍。

在另一个优选的形式中，在透反镜 2 的背向像源 1 的那一侧还附有增透膜，以增加光的透射率，提高光效。优选地，增透膜可以增加光的透射率达 3%，甚至 5% 以上。

图 13 显示了根据该技术的用于提高显像亮度的成像系统的另一个实施形式。

与图 2 所示的实施形式类似，该系统包括像源 1、透反镜 2 和对向反射元件 3；透反镜 2 所处的平面将空间分为第一半区 I 和第二半区 II，像源 1 处在第一半区 I 中，而对向反射元件 3 处在第 II 半区。

其中，像源 1 发出的光线经过透反镜 2 的透射，照射到对向反射元件 3 上，光线在对向反射元件 3 上发生对向反射，使得对向反射元件 3 上的反射光线与入射光线处于同一条路径上，只是方向相反。因此，光线经对向反射元件 3 反射后沿原入射路径出射（当然，从微观上观察，可以认为反射路径和入射路径略有偏移；然而，从宏观上观察，可以认为两条路径是完全重合的），再经透反镜反射后，在第二半区 II 形成实像 4。

像源 1 使用 p 偏振光源；在透反镜 2 朝向像源 1 的一侧，镀有选透膜，选透膜设置成对 s 偏振光的反射率较高，而 p 偏振光的透射率较高。选透膜可以是单独的膜层，也可以是多个膜层叠加。选透膜的成分选自特殊的金属氧化物、金属氮化物、金属氮氧化物镀膜，氟化物，以及/或者有机聚合物；可以是五氧化二钽、二氧化钛、氧化镁、氧化锌、氧化锆、二氧化硅、氟化

镁、氮化硅、氮氧化硅、氟化铝中的一种或多种。

如图 13 所示，在对向反射元件 3 朝向透反镜 2 的一侧还设有相位延迟光学元件 5，优选是 $1/4$ 波片，使得从透反镜 2 射向对向反射元件 3 的 p 偏振光源在经过相位延迟光学元件 5 后，变为圆偏振光。圆偏振光再经过对向反射元件 3 反射后，又经过相位延迟光学元件 5，这时圆偏振光会变为 s 偏正光。

与图 12 中实施例的分析方式类似，由于透膜对 s 偏振光的平均反射率很高；而其对 p 偏振光的平均透射率也很高。因此对于图 13 中的实施例与前述系统中例如 25% 的光效相比，其最终显像亮度也提高了近一倍。

同样，对于图 13 中的实施例也可以利用增透膜，以增加光的透射率，提高光效。优选地，增透膜可以增加光的透射率达 3%，甚至 5% 以上。

基于对于显像亮度和显像清晰度的分析，为了提高空气中显像的亮度和清晰度，我们还提出了一种改进的结构设计：将对向反射元件分割成若干小片（对向反射子元件），按一定规律离散地分布在透反镜的一侧，使得入射光线与对向反射单元中心线的夹角尽可能小，同时各对向反射子元件到实像的光程尽可能短。这样有利于提高成像的亮度和清晰度。

图 14a 和图 14b 显示了根据该技术的用于提高显像亮度和清晰度的成像系统的一个实施形式。

参考图 14a，与图 1 所示的实施形式类似，该系统包括像源 1、透反镜 2 和多个对向反射子元件 300；透反镜 2 所处的平面将空间分为第一半区 I 和第二半区 II，像源 1 和对向反射子元件 300 都处在第一半区 I 中。多个对向反射子元件 300 形成对向反射子元件阵列 3000（为方便起见在图中将标记 3000 与标记 300 记在一处）。

其中，像源 1 发出的光线经过透反镜 2 的反射，照射到对向反射子元件 300 上，光线在对向反射子元件 300 上发生对向反射，使得对向反射子元件

300 上的反射光线与入射光线处于同一条路径上，只是方向相反。因此，光线经对向反射子元件 300 反射后沿原入射路径出射（当然，从微观上观察，可以认为反射路径和入射路径略有偏移；然而，从宏观上观察，可以认为两条路径是完全重合的），再经透反镜透射后，在第二半区 II 形成实像 4。

进一步参考图 14b，在系统的侧视图上看去，具有能够看到完整的实像的完整实像视域 CRIVD(Complete Real Image Vision Domain)，完整实像视域 CRIVD 具有交点为视域点 VDP(Vision Domain Point)的两条视域边界线 VDB1 和 VDB2(Vision Domain Boundary)；对向反射子元件阵列 3000 包括阵列第一端 3001 和阵列第二端 3002，其中阵列第一端 3001 距离透反镜 2 距离较近，而阵列第二端 3002 距离透反镜 2 距离较远。视域边界线 VDB1 的反向延长线与透反镜 2 交于离阵列第一端 3001 较近的透反镜第一点 21，而视域边界线 VDB2 的反向延长线与透反镜 2 交于离阵列第一端 3001 较远的透反镜第二点 22。

继续参考图 14b，像源 1 发出的光线具有位于像源 1 与透反镜 2 之间的有效照射区域 EED (Effective Exposure Domain)，有效照射区域 EED 包括第一边界线 L1 和第二边界线 L2，其中第一边界线 L1 为透反镜第一点 21 到像源 1 的各发光点的连线中与透反镜 2 夹角最大的一条连线，而第二边界线 L2 为透反镜第二点 22 到像源 1 的各发光点的连线中与透反镜 2 夹角最小的那条连线。

在图 14a 和 10b 所示的实施形式中，对向反射子元件 300 每个都包括基本为平面形状的基材，以及分布在基材上的大量带反射面的对向反射单元（未示出）。对向反射单元是直角顶点微结构，该直角顶点微结构带至少一个直角顶点，该直角顶点的三条棱互成直角。定义经过该直角顶点的与直角顶点微结构三条棱所成角度均相等（约为 54.7° ）的线为该直角顶点微结构的中心线，在一些优选的实施形式中，要求直角顶点微结构的中心线与基材平面的法线的夹角尽可能小，例如，小于 15° 、小于 10° 、小于 5° 、或

甚至为 0° 。

参考图 14b 中的局部放大部分, 各对向反射子元件 300 都包括子元件
一端 301 和子元件第二端 302。一般而言, 子元件一端 301 在上方, 而子
元件第二端 302 在下方, 使得子元件 300 竖直地设置, 或优选地与竖直方向
5 成一定角度。

在一些优选的实施形式中, 在每个子元件一端 301 的位置都确定的情
况下, 调整对向反射子元件 300 与竖直方向的角度, 使对向反射子元件 300
的几何中心 303 (参见图 14b 的局部放大部分) 与视域点 VDP 的连线与该对
向反射子元件 300 上的直角顶点微结构的中心线所成夹角小于 15° , 优选
10 地小于 10° , 更优选地小于 5° , 最好使该夹角为 0° ; 由此使得反射光效
尽可能高。

在一些优选的实施形式中, 对向反射子元件阵列 3000 设置成, 各对向
反射子元件 300 都不遮挡像源 1 入射到透反镜 2 的光线, 这样能够保证像源
1 到实像 4 的光线不会因为遮挡而造成成像的损失。

15 举例而言, 每个子元件一端 301 和每个子元件第二端 302 都落在有效
照射区域 EED 之外, 这使得像源 1 到实像 4 的光线不会被遮挡。更优选的情
况下, 每个子元件一端 301 落在第一边界线 L1 上, 而每个子元件第二端
302 都落在有效照射区域 EED 之外; 这样还能够保证对向反射子元件 300 到
所成实像 4 的光程尽可能短。

20 在一些优选的实施形式中, 对向反射子元件阵列 3000 设置成, 而形成
实像 4 的所有光线的反向延长线都能够落在某一个对向反射子元件 300 上。
这样能够保证像源 1 到实像 4 的光线不会因为漏掉不被反射而造成成像的损
失。

举例而言, 如图 14b 所示, 在系统的侧视图上看去, 将阵列 3000 的所
25 有对向反射子元件 300 按照离透反镜第一点 21 的距离由近至远排序, 定义
离透反镜第一点 21 的距离最近的对向反射子元件 300 的位置为最前, 离透

反镜第一点 21 的距离最远的对向反射子元件 300 的位置为最后，其中，相邻两个对向反射子元件 300 中，前一个对向反射子元件 300 的子元件第二端 302 与视域点 VDP 的连线和第一边界线 L1 的形成一个交点，而后一个对向反射子元件 300 的子元件第一端 301 与视域点 VDP 的连线和第一边界线 L2 也形成一个交点，前者交点位于后者交点的后方，或者至少与其重叠，这样保证像源 1 发出的、经透反镜 2 第一次反射向阵列 3000 的所有光线都会被对向反射回去，不会遗漏。

图 15a 和图 15b 示意性地显示了根据本发明的另一个实施形式的用于提高显像亮度和清晰度的成像系统。

参考图 15a，与图 2 所示的实施形式类似，系统包括像源 1、透反镜 2 和多个对向反射子元件 300；透反镜 2 所处的平面将空间分为第一半区 I 和第二半区 II，像源 1 处在第一半区 I 中，而多个对向反射子元件 300 处在第二半区 II 中。多个对向反射子元件 300 形成对向反射子元件阵列 3000（为方便起见在图中将标记 3000 与标记 300 记在一处）。

其中，像源 1 发出的光线经过透反镜 2 的透射，照射到对向反射子元件 300 上，光线在对向反射子元件 300 上发生对向反射，使得对向反射子元件 300 上的反射光线与入射光线处于同一条路径上，只是方向相反。因此，光线经对向反射子元件 300 反射后沿原入射路径出射（当然，从微观上观察，可以认为反射路径和入射路径略有偏移；然而，从宏观上观察，可以认为两条路径是完全重合的），再经透反镜反射后，在第二半区 II 形成实像 4。

在这个实施形式中，像源 1 发出的光线经透反镜 2 的透射（而非经过反射）后到达反射子元件 300。而经反射子元件 300 反射的光线再经由透反镜 2 反射（而非透射）后，生成实像 4。最后所成的实像 4 和反射子元件 300 位于同一半区，而非不同的半区。

与图 14b 类似，在侧视图上看去，图 15b 的系统也包括完整实像视域 CRIVD、视域点 VDP、两条视域边界线 VDB1 和 VDB2（图 15b 中未示出）；

同样也包括有效照射区域 EED，以及第一边界线 L1 和第二边界线 L2（图 15b 中未示出）；还包括对向反射子元件阵列 3000 的阵列第一端 3001 和阵列第二端 3002，透反镜第一点 21，透反镜第二点 22。这些特征的定义都参照图 14b 中的系统。图 15b 的系统中微结构的构成也与图 14b 所示的实施形式中的一致。

除此之外，还定义第三边界线 L3 为与第一边界线 L1 关于透反镜 2 镜像对称的线，定义有效成像区域 EID（Effective Imaging Domain）为与有效照射区域 EED 关于透反镜 2 镜像对称的区域，又定义虚拟视域点 VVDP 为与视域点 VDP 关于透反镜 2 镜像对称的点。

在图 15b 中，一般而言，各对向反射子元件 300 的子元件第一端 301 在右方（离透反镜 2 较近），而子元件第二端 302 在左方（离透反镜 2 较远），使得子元件 300 水平地设置，或优选地与水平方向成一定角度。

在一些优选的实施形式中，在每个子元件第一端 301 的位置都确定的情况下，调整对向反射子元件 300 与水平方向的角度，使对向反射子元件 300 的几何中心 303 与虚拟视域点 VVDP 的连线与该对向反射子元件 300 上的直角顶点微结构的中心线所成夹角小于 15° ，优选地小于 10° ，更优选地小于 5° ，最好使该夹角为 0° ；由此使得反射光效尽可能高。

在一些优选的实施形式中，对向反射子元件阵列 3000 设置成，各对向反射子元件 300 都不遮挡透反镜 2 射向实像 4 入射到的光线，这样能够保证像源 1 到实像 4 的光线不会因为遮挡而造成成像的损失。

举例而言，每个子元件第一端 301 和每个子元件第二端 302 都落在有效成像区域 EID 之外，这使得像源 1 到实像 4 的光线不会被遮挡。更优选的情况下，每个子元件第一端 301 落在第一边界线 L1 上，而每个子元件第二端 302 都落在有效成像区域 EID 之外；这样还能够保证对向反射子元件 300 到所成实像 4 的光程尽可能短。

在一些优选的实施形式中，对向反射子元件阵列 3000 设置成，从像源

1 发出的有效照射区域 EED 内的所有光线的延长线都能够落在某一个对向反射子元件 300 上。这样能够保证像源 1 到实像 4 的光线不会因为漏掉不被反射而造成成像的损失。

举例而言，如图 15b 所示，在系统的侧视图上看去，将阵列 3000 的所有对向反射子元件 300 按照离透反镜第一点 21 的距离由近至远排序，定义离透反镜第一点 21 的距离最近的对向反射子元件 300 的位置为最前，离透反镜第一点 21 的距离最远的对向反射子元件 300 的位置为最后，其中，相邻两个对向反射子元件 300 中，前一个对向反射子元件 300 的子元件第二端 302 与虚拟视域点 VVDP 的连线和第三边界线 L3 形成一个交点，而后一个对向反射子元件 300 的子元件第一端 301 与虚拟视域点 VVDP 的连线和第三边界线 L3 也形成一个交点，前者交点位于后者交点的后方，或者至少与其重叠，这样保证像源 1 发出的、经透反镜 2 第一次透射向阵列 3000 的所有光线都会被对向反射回去，不会遗漏。

与采用单块的对向反射元件的情况类似，在本发明的又一个实施形式中（未示出），可以将上述两个实施形式结合，采用两个对向反射元件阵列，这样得到亮度更强的成像。附加地或者替代地，也可以使用两个像源。

应当理解，在本发明中，虽然大部分情况下将对向反射元件中的反射面（例如，涂有高反射涂层的面）描述为是附在基材上的一部分，但是也可以认为反射面是附在微结构上的一部分。例如，可以将对向反射元件划分成大量的对向反射单元，每个对向反射单元都包括带反射面的微结构；微结构可以是前述的球状微结构或者直角顶点微结构。或者，甚至也可以将反射面当作一个独立结构单元来描述。例如，每个对向反射单元都包括反射面，以及可以使反射面附着于其上的第一材质和第二材质中的至少一种；反射面可以由前述的微结构的一个或几个面所形成的。

根据本发明，既不需要借助头盔等辅助设备，也不需要借助成像屏幕或

是空气中的微粒介质，即可以直接在空气中，甚至在真空中成像。是真正的空气成像技术。由于所成的像悬浮在空气中，可以拓展出大量的互动和应用，具有划时代的意义。

应当明白，对所公开的实施例的上述说明，使本领域专业技术人员能够实现或使用本发明。应当理解，以上实施例中所公开的特征，除了有特别说明的情形外，都可以单独地或者相结合地使用。对这些实施例的多种修改对本领域的专业技术人员来说将是显而易见的，本文中所定义的一般原理可以在不脱离本发明的精神或范围的情况下，在其它实施例中实现。因此，本文所公开的本发明并不局限于所公开的具体实施例，而是意在涵盖如所附权利要求书所限定的本发明的精神和范围之内的修改。

权 利 要 求 书

1. 一种用于在空中成像的系统，其包括，像源、透反镜和对向反射元件；
其中

像源发出的光线经过透反镜的反射，照射到对向反射元件上，光线在对向
5 反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，透射过透反镜后形成实
像；

对向反射元件包括大量用于对向反射的微结构，微结构的半径、像源像
素点阵的点距以及实像到对向反射元件的光程之间的关系设计成，微结构的
直径与点距成线性关系，而光程与点距的平方成线性关系。

10 2. 根据权利要求 1 所述的系统，其特征在于，所述微结构的直径以及
所述实像到对向反射元件的光程之间的关系设计成，在所述光程选定时，所
述微结构的面积设计成与像源发出光线的波长成反比，和/或，

所述微结构的直径小于等于所述像源像素点阵的点距的一半。

3. 根据权利要求 1-2 中任一项所述的系统，其特征在于，预设的用户观
15 察所成实像的观察距离随着所述实像到对向反射元件的光程成线性关系。

4. 根据权利要求 3 所述的系统，其特征在于，所述像源像素点阵的点
距这样选择，使得其与预设的用户观察所成实像的观察距离成正比。

5. 一种用于在空中成像的方法，其使用包括像源、透反镜和对向反射元件
的系统；该方法包括：

20 使像源发出的光线经过透反镜的反射之后照射到对向反射元件上；

使光线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，从而
再透射过透反镜后形成实像；

其中，该对向反射元件包括大量用于对向反射的微结构，所述方法还包括，将微结构的半径、像源像素点阵的点距以及实像到对向反射元件的光程之间的关系设计成，使所述微结构的直径与所述点距成线性关系，而所述光程与所述点距的平方成线性关系。

5 6. 根据权利要求 5 所述的方法，其特征在于，将所述微结构的直径以及所述实像到对向反射元件的光程之间的关系设计成，在所述光程选定时，使所述微结构的面积设计成与像源发出光线的波长成反比，和/或，使所述微结构的直径小于等于所述像源像素点阵的点距的一半。

10 7. 根据权利要求 5-6 中任一项所述的方法，其特征在于，使预设的用户观察所成实像的观察距离随着所述实像到对向反射元件的光程成线性关系。

8. 根据权利要求 7 所述的方法，其特征在于，将所述像源像素点阵的点距这样选择，使得其与预设的用户观察所成实像的观察距离成正比。

9. 一种搭建用于空中成像的系统的方法，该系统包括像源、透反镜和对向反射元件，该对向反射元件包括大量用于对向反射的微结构，该方法包括：

15 使像源、透反镜和对向反射元件形成如下这样的光路：像源发出的光线经过透反镜的反射，照射到对向反射元件上，光线在对向反射元件上发生反射后以相反方向沿原入射路径出射，透射过透反镜后形成实像；

确定用户观察所成实像的观察距离；

20 基于观察距离确定所述实像到对向反射元件的光程；其中所述光程随所述观察距离的增大而增大；

基于观察距离确定所述像源像素点阵的点距；其中所述点距随所述观察距离的增大而增大；

基于所述点距确定所述微结构的直径；其中所述微结构的直径小于等于所述像源像素点阵的点距的一半。

10. 根据权利要求 9 所述的方法，其中所述光程与所述观察距离成正比例，和/或所述点距与所述观察距离成正比例。

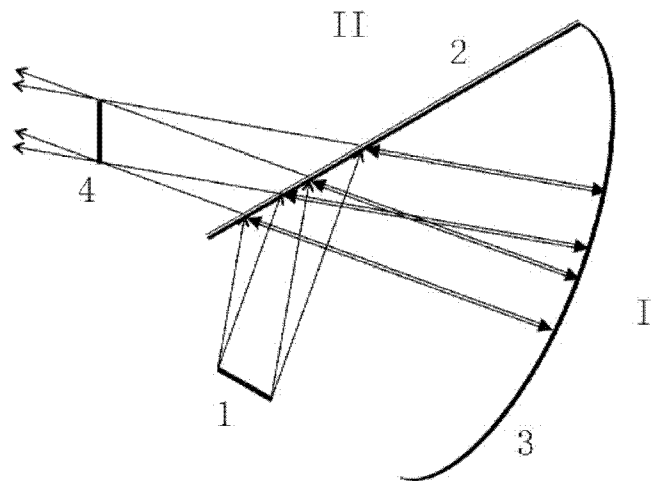


图 1

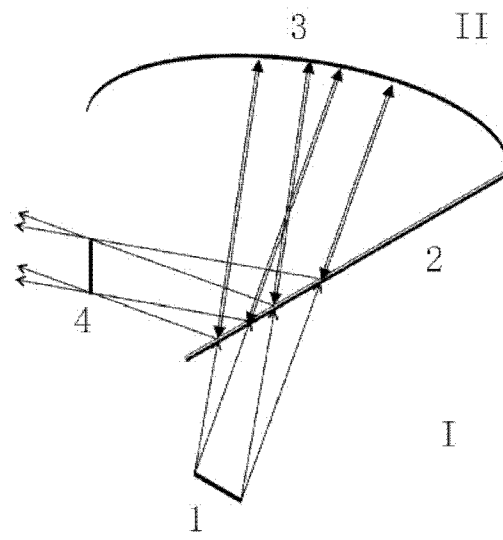


图 2

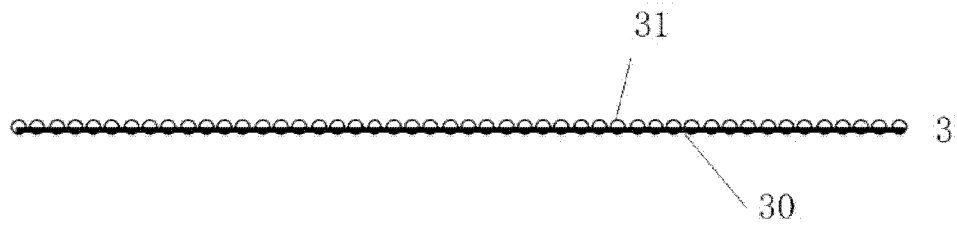


图 3

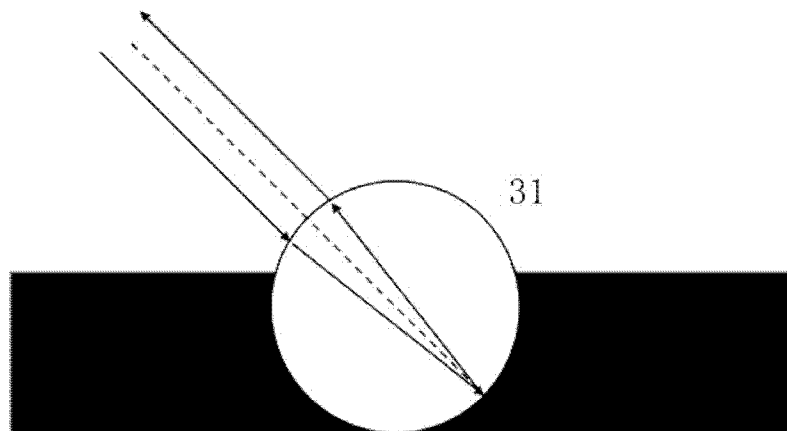


图 4

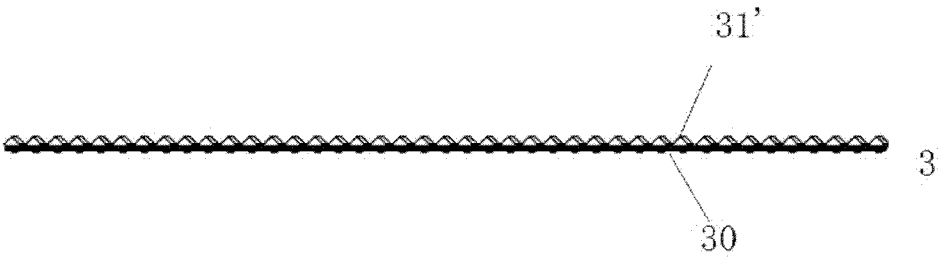


图 5

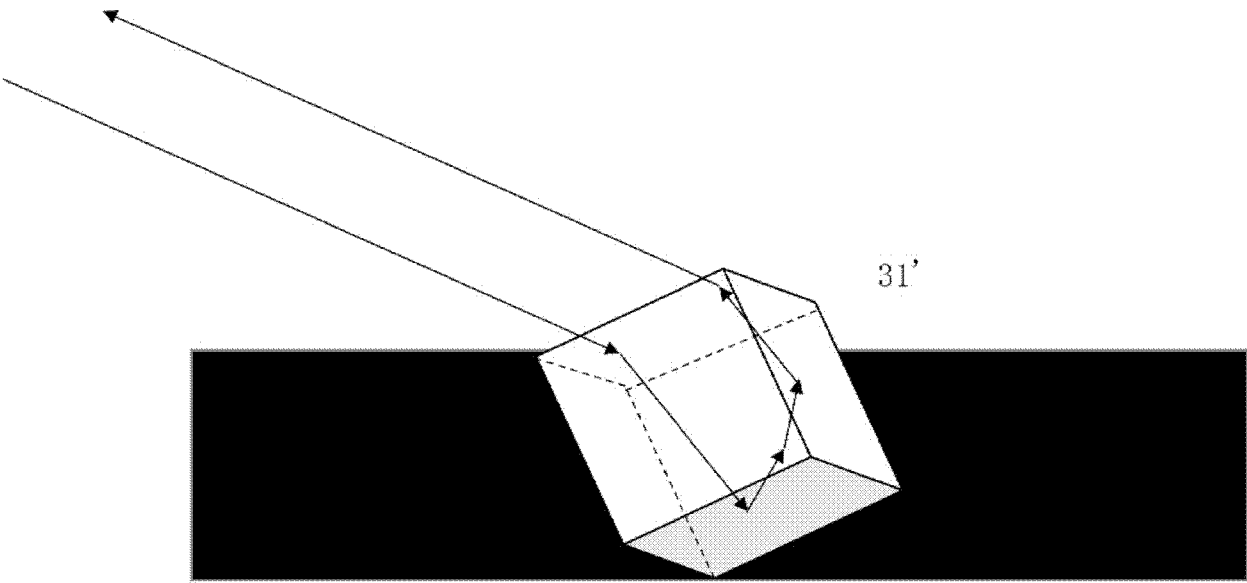


图 6A

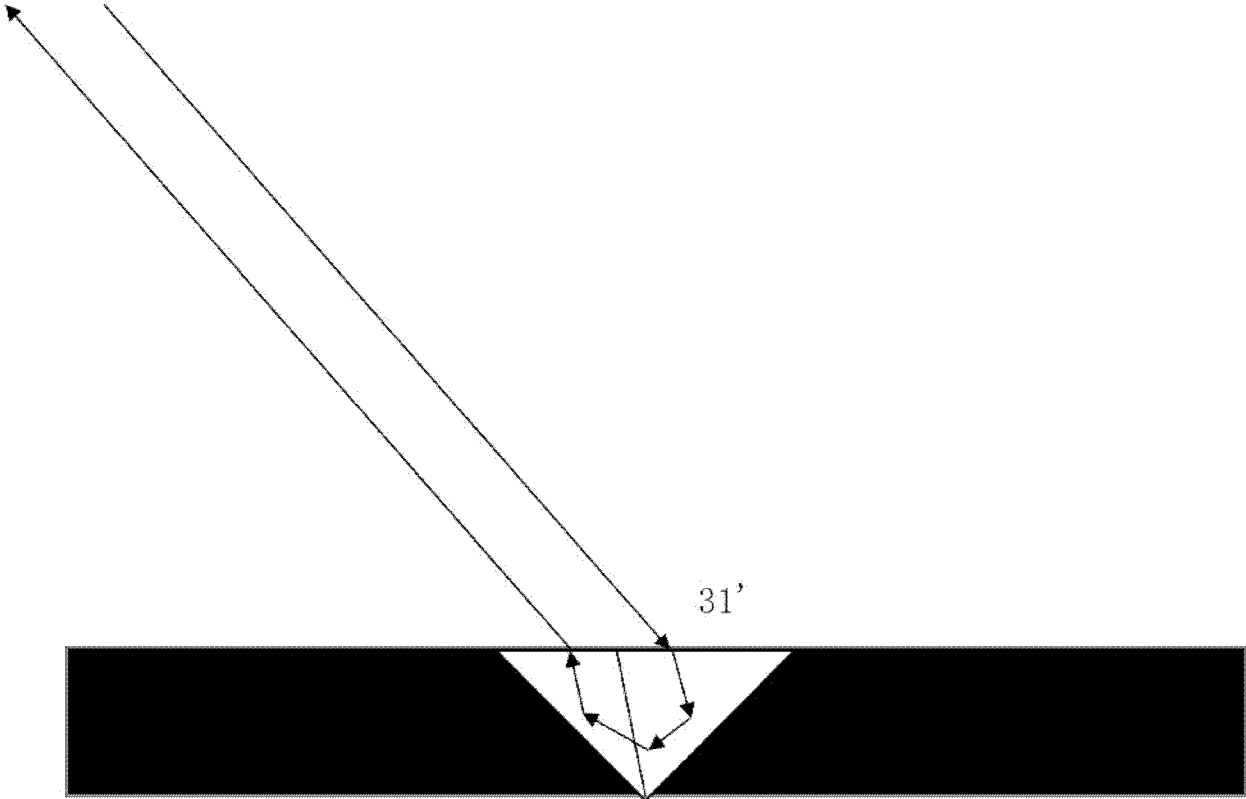


图 6B

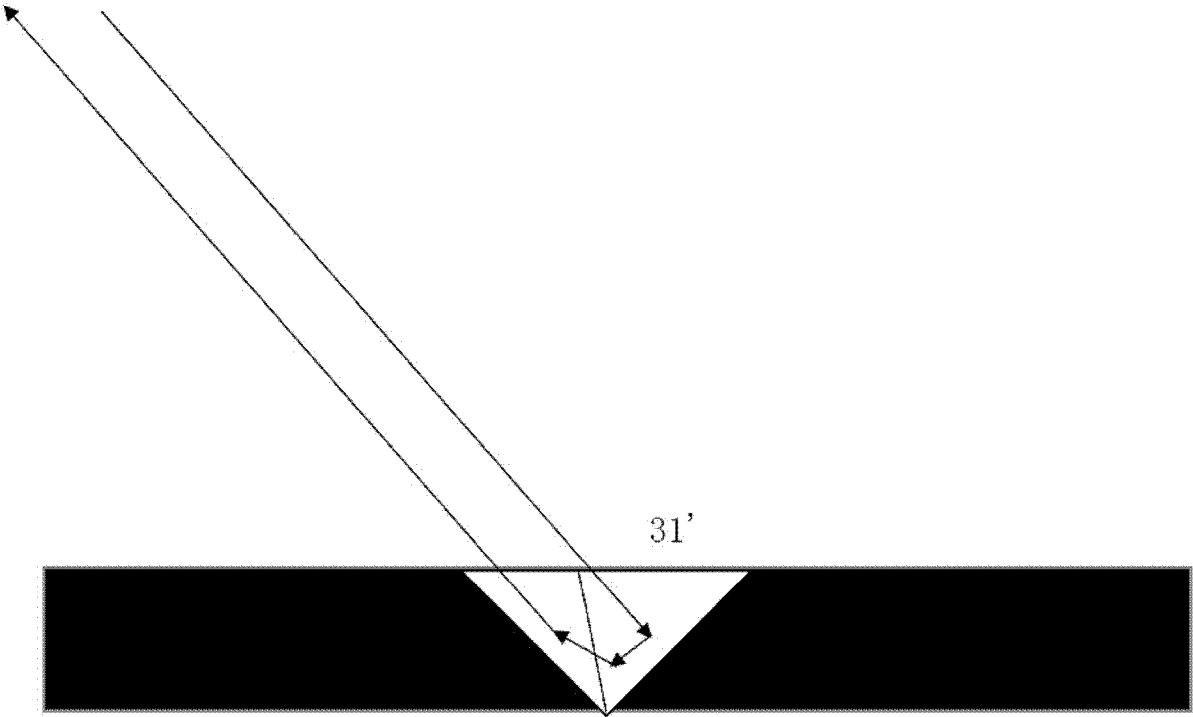


图 6C

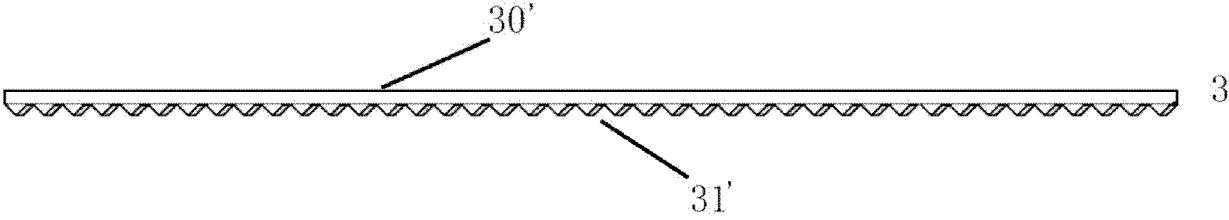


图 7

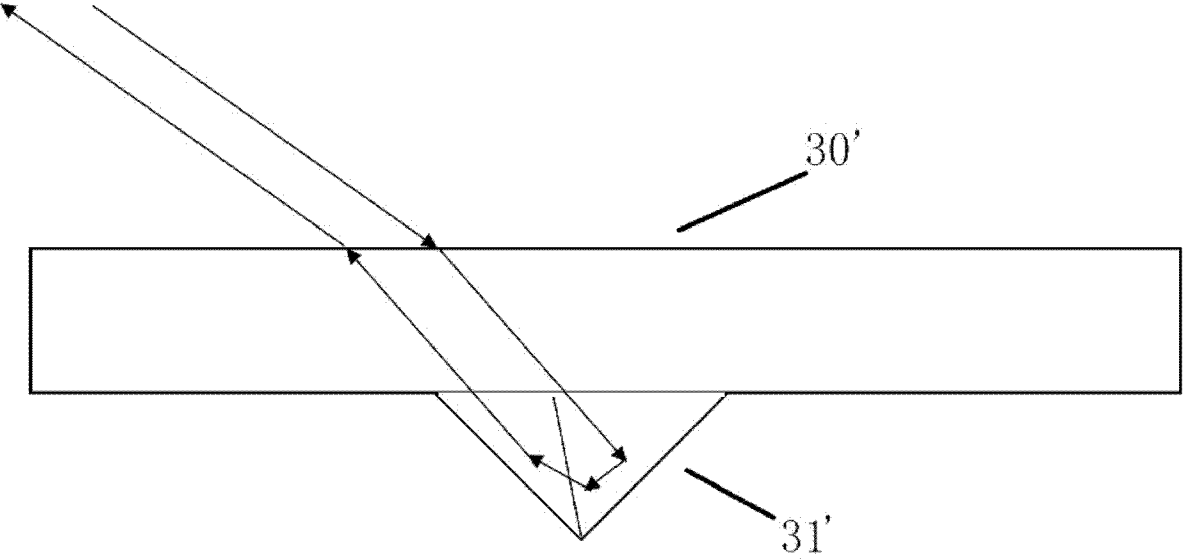


图 8

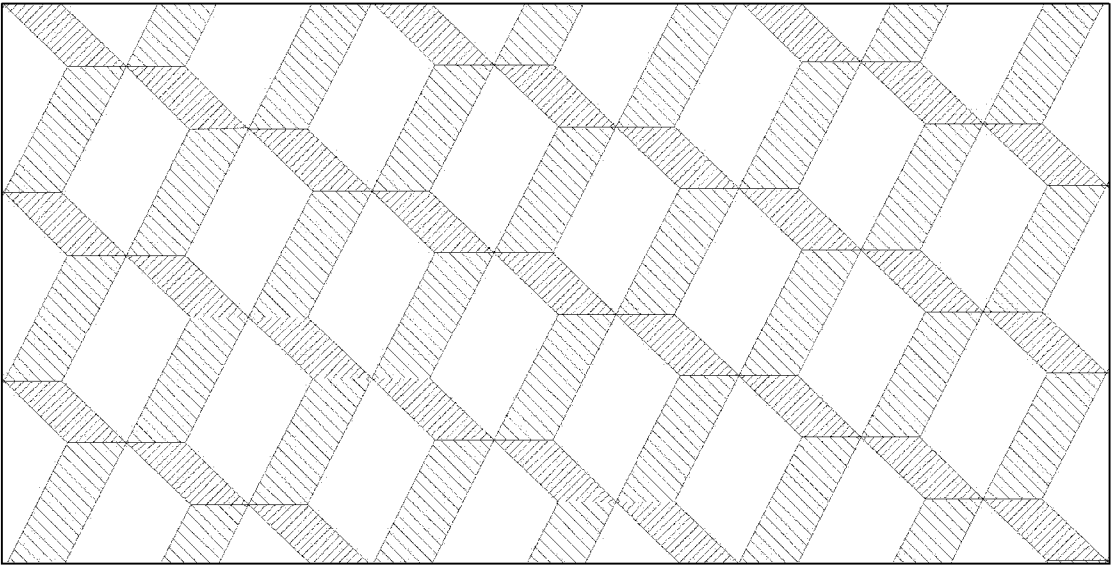


图 9

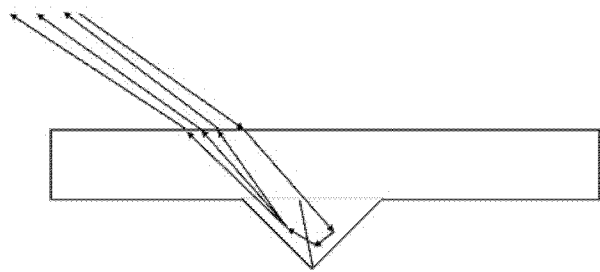


图 10

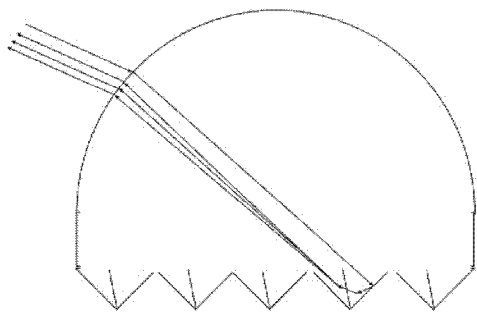


图 11

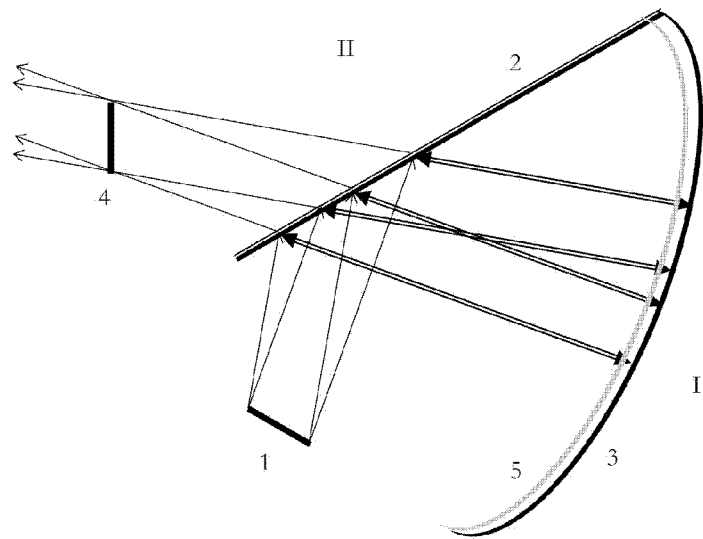


图 12

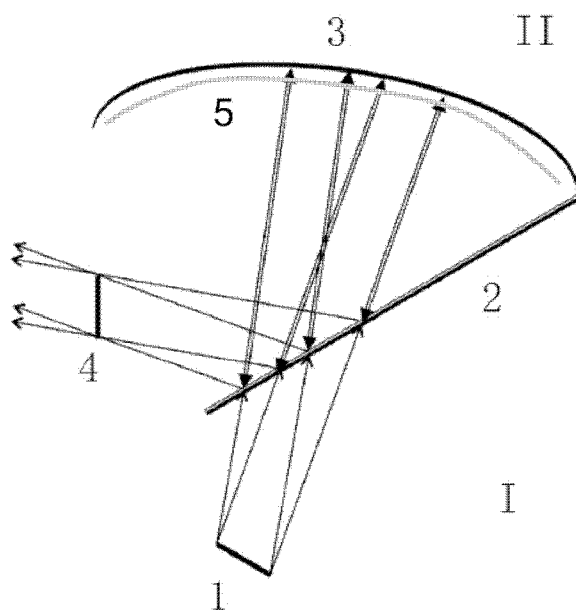


图 13

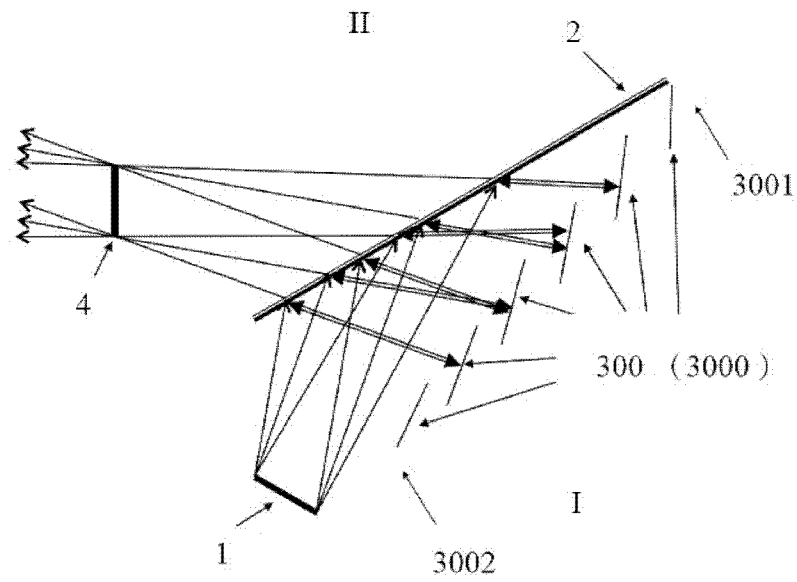


图 14a

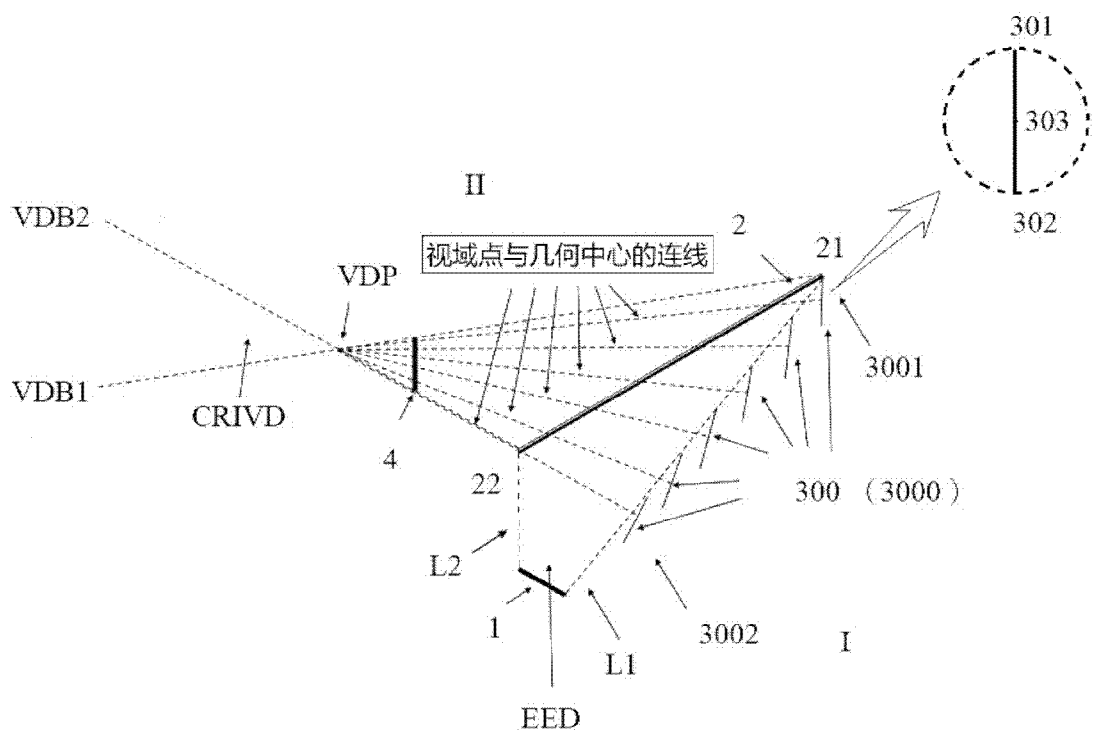


图 14b

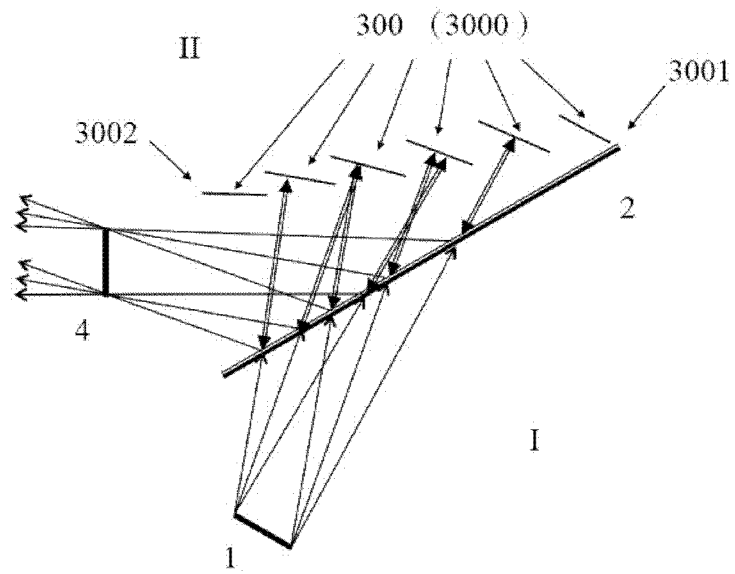


图 15a

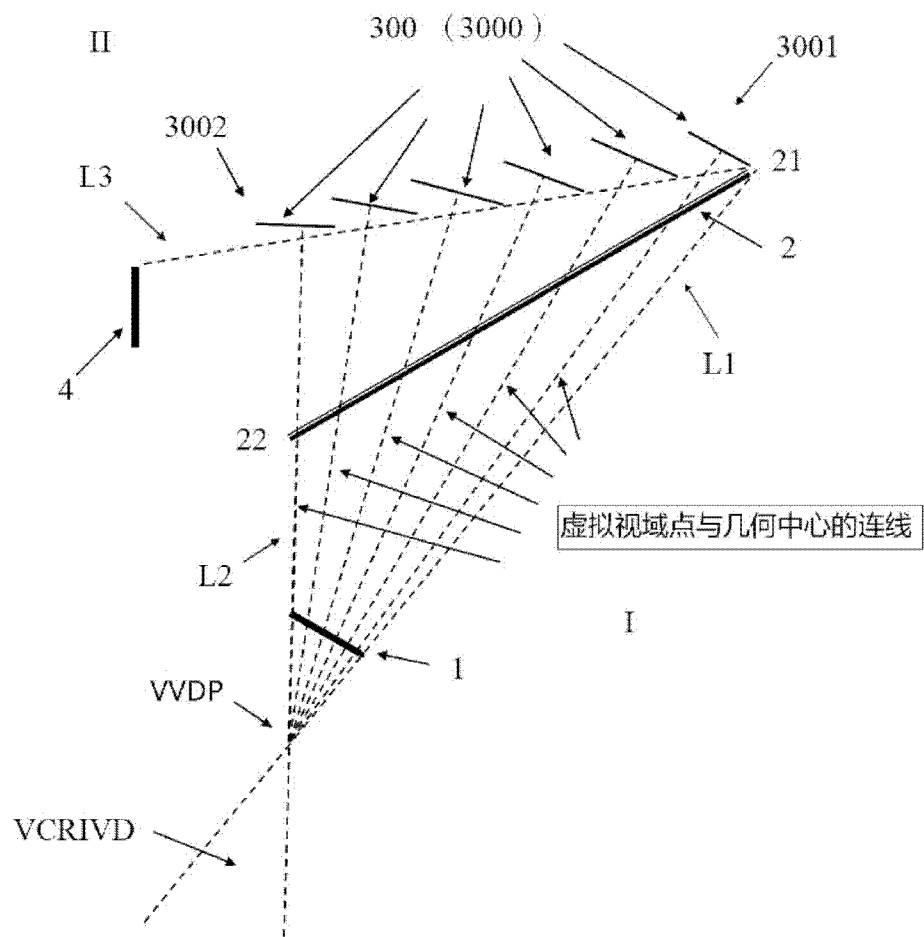


图 15b

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/114851

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 27/22 (2006.01) i; G03B 21/00 (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)

G02B; G03B

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, EPODOC, WPI: 未来 (北京) 黑科技有限公司, 徐俊峰, 方涛, 立体, 全息, 悬浮, 空中, 半透半反, 透反, 分束, 分光, 反射, 光程, 微结构, 点距, 间距, stereo, aerial, float, suspend, three, dimension, transparent, reflect, semi, splitting, path, distance, interval, space, microstructure

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006317708 A (TANAKA, Y.), 24 November 2006 (24.11.2006), description, paragraphs [0020] and [0022], and figure 1	1-10
A	CN 106154550 A (SUNNIC TECHNOLOGY & MERCHANDISE INC. et al.), 23 November 2016 (23.11.2016), description, paragraph [0037], and figure 1	1-10
A	JP 2001177784 A (SAMY KK), 29 June 2001 (29.06.2001), entire document	1-10
A	CN 104570367 A (SHENZHEN ANHUA OPTOELECTRONICS TECHNOLOGY CO., LTD.), 29 April 2015 (29.04.2015), entire document	1-10
A	CN 201489197 U (SHANGHAI AUDES INTELLIGENT TECHNOLOGY CO., LTD.), 26 May 2010 (26.05.2010), entire document	1-10
A	CN 205263410 U (HUANG, Puzhen), 25 May 2016 (25.05.2016), entire document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	“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
“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	“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
“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date	“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
“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)	“&” document member of the same patent family
“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	

Date of the actual completion of the international search 06 February 2018	Date of mailing of the international search report 27 February 2018
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer LI, Fei Telephone No. (86-10) 53962377

International application No.
PCT/CN2017/114851

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (July 2009)

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2017/114851

A. 主题的分类

G02B 27/22(2006.01)i; G03B 21/00(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)

G02B; G03B

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, EPODOC, WPI:未来(北京)黑科技有限公司, 徐俊峰, 方涛, 立体, 全息, 悬浮, 空中, 半透半反, 透反, 分束, 分光, 反射, 光程, 微结构, 点距, 间距, stereo, aerial, float, suspend, three, dimension, transparent, reflect, semi, splitting, path, distance, interval, space, microstructure

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	JP 2006317708 A (TANAKA YASUAKI) 2006年 11月 24日 (2006 - 11 - 24) 说明书第[0020]、[0022]段, 附图1	1-10
A	CN 106154550 A (尚立光电股份有限公司 等) 2016年 11月 23日 (2016 - 11 - 23) 说明书第[0037]段, 附图1	1-10
A	JP 2001177784 A (SAMY KK) 2001年 6月 29日 (2001 - 06 - 29) 全文	1-10
A	CN 104570367 A (深圳市安华光电技术有限公司) 2015年 4月 29日 (2015 - 04 - 29) 全文	1-10
A	CN 201489197 U (上海奥德思智能科技有限公司) 2010年 5月 26日 (2010 - 05 - 26) 全文	1-10
A	CN 205263410 U (黄朴真) 2016年 5月 25日 (2016 - 05 - 25) 全文	1-10

☐ 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

2018年 2月 6日

国际检索报告邮寄日期

2018年 2月 27日

ISA/CN的名称和邮寄地址

中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN)
中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088

受权官员

李飞

传真号 (86-10)62019451

电话号码 (86-10)53962377

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/114851

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)
JP	2006317708	A	2006年 11月 24日	无			
CN	106154550	A	2016年 11月 23日	TW	201636680	A	2016年 10月 16日
				TW	I579591	B	2017年 4月 21日
JP	2001177784	A	2001年 6月 29日	无			
CN	104570367	A	2015年 4月 29日	无			
CN	201489197	U	2010年 5月 26日	无			
CN	205263410	U	2016年 5月 25日	无			