

(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
2013年1月31日 (31.01.2013)



(10) 国际公布号
WO 2013/013465 A1

- (51) 国际专利分类号:
H01Q 15/00 (2006.01) H01Q 19/06 (2006.01)
H01Q 15/02 (2006.01) H01Q 17/00 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2011/082841
- (22) 国际申请日: 2011年11月24日 (24.11.2011)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201110210337.1 2011年7月26日 (26.07.2011) CN
201110210320.6 2011年7月26日 (26.07.2011) CN
- (71) 申请人 (对除美国外的所有指定国): **深圳光启高等理工研究院 (KUANG-CHI INSTITUTE OF ADVANCED TECHNOLOGY)** [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区高新区中区高新中一道9号软件大厦, Guangdong 518057 (CN)。 **深圳光启创新技术有限公司 (KUANG-CHI INNOVATIVE TECHNOLOGY LTD.)** [CN/CN]; 中国广东省深圳市福田区香梅路1061号中投国际商务中心A栋18B, Guangdong 518034 (CN)。
- (72) 发明人; 及
(75) 发明人/申请人 (仅对美国): **刘若鹏 (LIU, Ruopeng)** [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区高新区中区高新中一道9号软件大厦, Guangdong 518057 (CN)。 **季春霖 (JI, Chunlin)** [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区高新区中区高新中一道9号软件大厦, Guangdong 518057 (CN)。 **岳玉涛 (YUE, Yutao)** [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区高新区中区高新中一道9号软件大厦, Guangdong 518057 (CN)。 **殷俊 (YIN, Jun)** [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区高新区中区高新中一道9号软件大厦, Guangdong 518057 (CN)。 **李双双 (LI, Shuangshuang)** [CN/CN]; 中国广东省深圳市南山区高新区中区高新中一道9号软件大厦, Guangdong 518057 (CN)。
- (74) 代理人: **深圳市威世博知识产权代理事务所 (普通合伙) (CHINA WISPRO INTELLECTUAL PROPERTY LLP.)**; 中国广东省深圳市南山区科技园南区粤兴三道8号中国地质大学产学研基地中地大楼A806, Guangdong 518057 (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,

[见续页]

(54) Title: CASSEGRAIN RADAR ANTENNA

(54) 发明名称: 后馈式雷达天线

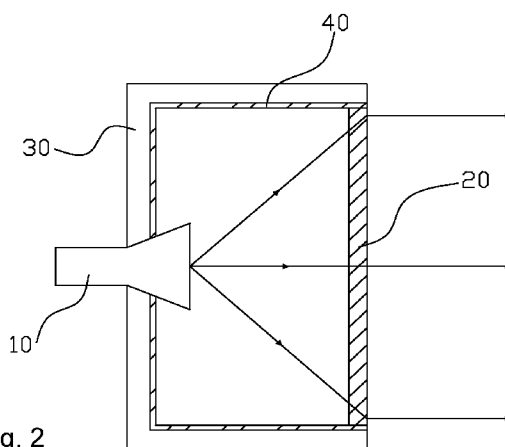


图 2 / Fig. 2

(57) **Abstract:** The present invention relates to a Cassegrain radar antenna. The antenna comprises a feed and a metamaterial panel. The metamaterial panel comprises multiple core layers having identical refractive index distributions. Each core layer of the metamaterial panel consists of multiple metamaterial units. The metamaterial units comprise unit substrates having artificial metal microstructures or artificial pore structures. By changing the pattern of refractive index distribution within the metamaterial panel, the Cassegrain radar antenna of the present invention allows for greatly improved far-field power of the antenna, thus extending antenna transmission distance, while at the same time, by arranging a wave-absorbing material layer within a cavity of the antenna, allows for improved front-to-back ratio of the antenna, thus increasing antenna directionality.

(57) **摘要:** 本发明涉及一种后馈式雷达天线, 所述天线包括馈源和超材料面板, 所述超材料面板包括多个具有相同折射率分布的核心层, 所述超材料面板的每一核心层由多个超材料单元组成, 所述超材料单元包括具有人造金属微结构或是人造孔结构的单元基材。本发明一种后馈式雷达天线通过改变超材料面板内部的折射率分布情况, 使得天线远场功率大大地增强了, 进而提升了天线传播的距离, 同时通过在天线腔体内部设置一层吸波材料层, 增加了天线的前后比, 使得天线更具方向性。



WO 2013/013465 A1



BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则 4.17 的声明:

- 关于申请人有权要求在先申请的优先权(细则 4.17(iii))

本国际公布:

- 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

后馈式雷达天线

【技术领域】

本发明涉及雷达天线领域，特别是涉及一种使用超材料的后馈式雷达天线。

【背景技术】

后馈天线又被称为卡塞格伦天线，由抛物面主反射面 2、双曲面副反射面 1、馈源喇叭 3 以及支架 4 构成，如图 1 所示。由于抛物面主反射面 2 的实焦点与双曲面副反射面 1 的虚焦点重合，而馈源喇叭 3 的相位中心与双曲面副反射面 1 的实焦点重合，从卫星射来的电磁波经过抛物面主反射面 2 一次反射，再被双曲面副反射面 1 二次反射后，被聚焦于馈源喇叭 3 的相位中心，同相叠加。从而实现雷达天线定向接收或者发射电磁波。

为了制造抛物面反射面和双曲面副反射面通常利用模具铸造成型或者采用数控机床进行加工的方法。第一种方法的工艺流程包括：制作抛物面模具、铸造成型抛物面和进行抛物面反射器地安装。工艺比较复杂，成本高，而且抛物面的形状要比较准确才能实现雷达天线的定向传播，所以对加工精度的要求也比较高。第二种方法采用大型数控机床进行抛物面的加工，通过编辑程序，控制数控机床中刀具所走路径，从而切割出所需的抛物面形状。这种方法切割很精确，但是制造这种大型数控机床比较困难，而且成本比较高。

【发明内容】

本发明的目的在于克服现有技术中制造抛物面反射面和双曲面副反射面的困难，提供一种雷达天线，该天线不再拘泥于抛物面的定式，改以平板超材料，节约了空间；且改进大角度电磁波入射的偏折问题，提高了天线能量辐射的效率。

本发明解决其技术问题所采用的技术方案是：提出一种后馈式雷达天线，该天线包括：馈源，用于辐射电磁波；超材料面板，用于将该馈源辐射出的电

磁波从球面电磁波转化为平面电磁波。该超材料面板包括多个具有相同折射率分布的核心层，该每一核心层包括多个超材料单元，该超材料单元包括具有人造金属微结构或是人造孔结构的单元基材，该超材料面板的每一核心层包括一个以其中心为圆心的圆形区域和多个与圆形区域同心的环形区域，在该圆形区域内，随着半径的增加折射率逐渐减小；在该每一环形区域内，随着半径的增加折射率也逐渐减小，且相连的两个区域的交界处发生折射率突变，即交界处的折射率位于半径大的区域时比位于半径小的区域时要大。

进一步地，该雷达天线还包括外壳，用于固定该馈源；以及紧贴于该外壳内壁的吸波材料层，用于吸收从馈源辐射出来的部分电磁波；该吸波材料层和超材料面板共同构成封闭的腔体；该馈源位于该腔体内。

进一步地，该超材料面板还包括对称分布于该核心层两侧的多个渐变层，该每一渐变层均包括片状的基板层、片状的填充层以及设置在该基板层和填充层之间的空气层，该填充层内填充的介质包括空气以及与该基板层相同材料的介质。

进一步地，在该圆形区域内，圆心处的折射率为最大值 n_{\max} ，且随着半径的增加折射率从最大值 n_{\max} 逐渐减小到最小值 n_{\min} ；在该每一环形区域内，随着半径的增加折射率也是从最大值 n_{\max} 逐渐减小到最小值 n_{\min} 。

进一步地，该超材料面板的每一核心层的折射率以其中心为圆心，随着半径 r 的变化规律如以下表达式：

$$n(r) = n_{\max} - \frac{\sqrt{ss^2 + r^2} - ss - k\lambda}{d};$$

式中 n_{\max} 表示该每一核心层中的最大折射率值， d 表示所有核心层的总厚度， ss 表示该馈源到最靠近馈源位置的核心层的距离， $n(r)$ 表示该每一核心层内半径 r 处折射率值， λ 表示馈源辐射出电磁波的波长，其中，

$$d = \frac{\lambda}{n_{\max} - n_{\min}}, \quad k = \text{floor}\left(\frac{\sqrt{ss^2 + r^2} - ss}{\lambda}\right),$$

n_{\min} 表示超材料面板中多个核心层内的最小折射率值， floor 表示向下取整。

进一步地，该超材料面板的每一渐变层内的折射率均匀分布的，且多个渐

变层间折射率分布的变化规律如以下表达式：

$$n_i = \left(\frac{n_{\max} + n_{\min}}{2} \right)^{\frac{i}{m}}, \quad i=1, 2, 3, \dots, m,$$

其中 n_i 表示第 i 层渐变层的折射率值， m 表示渐变层的层数， n_{\min} 表示该每一核心层内的最小折射率值， n_{\max} 表示该每一核心层中的最大折射率值，其中第 m 层渐变层与核心层靠近，随着 m 值的变小逐渐远离核心层，第一层渐变层为最外层渐变层。

进一步地，该人造金属微结构为由至少一根金属丝组成对电磁场有响应的平面结构或立体结构，该金属丝为铜丝或银丝，该金属丝通过蚀刻、电镀、钻刻、光刻、电子刻或离子刻的方法附着在该单元基材上。

进一步地，该超材料单元还包括第一填充层，该人造金属微结构位于该单元基材和第一填充层之间，该第一填充层内填充的材料包括空气、人造金属微结构以及与该单元基材相同材料的介质。

进一步地，该人造金属微结构为在“工”字形、“工”字形的衍生形、雪花状或雪花状的衍生形任意一种。

进一步地，该第一基板层和第二基板层均由陶瓷材料、环氧树脂、聚四氟乙烯、FR-4 复合材料或 F4B 复合材料制得。

进一步地，该每一超材料单元上形成有一个小孔，该小孔内填充有折射率小于单元基材折射率的介质，且所有超材料单元内的小孔都填充相同材料的介质，该设置在超材料单元内的小孔体积在每一核心层内的排布规律为：该超材料面板的每一核心层包括一个以其中心为圆心的圆形区域和多个与圆形区域同心的环形区域，在该圆形区域内，随着半径的增加在该超材料单元上形成的小孔体积也逐渐增加；在该每一环形区域内，随着半径的增加在该超材料单元上形成的小孔体积也逐渐增加，且相连的两个区域的交界处发生小孔体积突变，即交界处在该超材料单元上形成的小孔体积在位于半径大的区域时比位于半径小的区域时要小。

进一步地，该每一超材料单元上形成有一个小孔，该小孔内填充有折射率

大于单元基材折射率的介质，且所有超材料单元内的小孔都填充相同材料的介质，该设置在超材料单元内的小孔体积在每一核心层内的排布规律为：该超材料面板的每一核心层包括一个以其中心为圆心的圆形区域和多个与圆形区域同心的环形区域，在该圆形区域内，随着半径的增加在该超材料单元上形成的小孔体积减小；在该每一环形区域内，随着半径的增加在该超材料单元上形成的小孔体积也逐渐减小，且相连的两个区域的交界处发生小孔体积突变，即交界处在该超材料单元上形成的小孔体积在位于半径大的区域时比位于半径小的区域时要大。

进一步地，该超材料单元上形成有数量不同、体积相同的小孔，该小孔内填充有折射率小于单元基材折射率的介质，且所有超材料单元内的小孔都填充相同材料的介质，该设置在超材料单元内的小孔数量在每一核心层内的排布规律为：该超材料面板的每一核心层包括一个以其中心为圆心的圆形区域和多个与圆形区域同心的环形区域，在该圆形区域内，随着半径的增加在该超材料单元上形成的小孔数量逐渐增加；在该每一环形区域内，随着半径的增加在该超材料单元上形成的小孔数量也逐渐增加，且相连的两个区域的交界处发生小孔数量突变，即交界处在该超材料单元上形成的小孔数量在位于半径大的区域时比位于半径小的区域时要少。

进一步地，该超材料单元上形成有数量不同、体积相同的小孔，该小孔内填充有折射率大于单元基材折射率的介质，且所有超材料单元内的小孔都填充相同材料的介质，该设置在超材料单元内的小孔数量在每一核心层内的排布规律为：该超材料面板的每一核心层包括一个以其中心为圆心的圆形区域和多个与圆形区域同心的环形区域，在该圆形区域内，随着半径的增加在该超材料单元上形成的小孔数量逐渐减小；在该每一环形区域内，随着半径的增加在该超材料单元上形成的小孔数量逐渐减小，且相连的两个区域的交界处发生小孔数量突变，即交界处在该超材料单元上形成的小孔数量在位于半径大的区域时比位于半径小的区域时要多。

本发明相对于现有技术，具有以下有益效果：本发明一种后馈式雷达天线通过改变超材料面板内部的折射率分布情况，使得天线远场功率大大地增强了，进而提升了天线传播的距离，同时通过在天线腔体内部设置一层吸波材料层，增加了天线的前后比，使得天线更具方向性。

【附图说明】

- 图 1 是现有技术中后馈抛物面天线结构示意图；
- 图 2 是本发明第一实施例的后馈式雷达天线的结构示意图；
- 图 3 是本发明第一实施例的所述超材料面板的结构示意图；
- 图 4 是本发明第一实施例的所述超材料多个核心层的结构示意图；
- 图 5 是本发明第一实施例的所述超材料单元的结构示意图；
- 图 6 是本发明第一实施例的所述超材料渐变层的结构示意图；
- 图 7 是本发明第一实施例的所述核心层内人造金属微结构排布示意图。
- 图 8 是本发明第一实施例的核心层折射率变化示意图；
- 图 9 是本发明第一实施例的核心层折射率变化示意图；
- 图 10 是本发明第二实施例的后馈式雷达天线的结构示意图；
- 图 11 是本发明第二实施例的所述超材料面板的结构示意图；
- 图 12 是本发明第二实施例的所述超材料多个核心层的结构示意图；
- 图 13 是本发明第二实施例的所述超材料单元的结构示意图；
- 图 14 是本发明第二实施例的所述超材料渐变层的结构示意图；

【具体实施方式】

下面结合实施例及附图，对本发明作进一步地详细说明，但本发明的实施方式不限于此。

图 2 是本发明第一实施例的后馈式雷达天线的结构示意图，该天线包括馈源 10、超材料面板 20、外壳 30 以及吸波材料层 40，所述馈源 10 固定于外壳

30 上，吸波材料层 40 紧贴于外壳 30 内壁，所述吸波材料层 40 与超材料面板 20 相连，且吸波材料层 40 和超材料面板 20 共同组成一个封闭的腔体，所述馈源 10 位于所述腔体内。

通常从馈源 10 辐射的电磁波是球面电磁波，但是球面电磁波的远场方向性能不好，对于远距离以球面电磁波为载体的信号传输有很大的局限性，而且衰减快，本发明通过在馈源 10 传输方向上设计一具有电磁波汇聚功能的超材料面板 20，该超材料面板 20 将馈源 10 辐射出来的大部分电磁波从球面电磁波转换为平面电磁波，使得雷达天线的方向性更好，天线主瓣能量密度更高，能量更大，进而以该平面电磁波为载体的信号传输距离更远。

为了增强雷达天线的前后比，我们通常是降低天线副瓣和后瓣的电磁波能量，本发明中采用在所述外壳 30 的内壁紧贴一层吸波材料层 40，用于吸收除主瓣方向以外的电磁波能量，所述外壳 30 用于固定所述馈源 10，一般采用金属材料或者 ABS 材料。

图 3 是图 2 所示的超材料面板 20 的结构示意图，超材料面板 20 包括多个核心层 210 以及对称分布在核心层 210 两侧的多个渐变层 220，每一核心层 210 均由多个超材料单元组成，所述超材料单元包括单元基材 211、片状的第一填充层 213 以及设置在所述单元基材 211 和第一填充层 213 之间的多个人造金属微结构 212，如图 4 以及如图 5 所示。所述第一填充层 213 内填充的材料可以是空气、人造金属微结构 212 以及与所述单元基材 211 相同材料的介质，比如，当需要所述超材料单元内的等效折射率变大时，可以在第一填充层 213 内填充金属微结构或者是填充具有较大折射率的介质；当需要所述超材料单元内的等效折射率变小时，可以在第一填充层 213 内填充空气介质或者是不填充任何介质。超材料面板 20 内的多个超材料核心层 210 堆叠在一起，且各个核心层 210 之间等间距排列地组装，或两两片层之间直接前、后表面相粘合地连接成一体。具体实施时，超材料面板 20 的核心层的数目以及各个核心层之间的距离可依据需求来进行设计。每个超材料核心层 210 由多个超材料单元阵列形成，整个超材

料核心层 210 可看作是由多个超材料单元沿 X、Y、Z 三个方向阵列排布而成。

所述超材料面板 20 的多个核心层 210 通过改变其内部的折射率分布以实现通过所述超材料面板 20 后的电磁波等相位辐射，即实现从所述馈源 10 辐射出的球面电磁波转换为平面电磁波。本发明中每个超材料核心层 210 的折射率分布均相同，这里仅对一个超材料核心层 210 的折射率分布规律进行详细描述。通过对人造金属微结构 212 的拓扑图案、几何尺寸以及其在单元基材 211 和第一填充层 213 上分布的设计，使中间的核心层 210 的折射率分布满足如下规律：每一超材料核心层 210 包括一个以超材料核心层 210 中心点为圆心的圆形区域和多个半径大于圆形区域且与圆形区域同心的环形区域，圆心处折射率最大，具有相同半径的圆形区域或者环形区域处折射率相同，在所述圆形区域内，随着半径的增加折射率逐渐减小；在所述每一环形区域内，随着半径的增加折射率也逐渐减小，且相连的两个区域的交界处发生折射率突变，即交界处的折射率在位于半径大的区域时比位于半径小的区域时要大。例如：所述圆形区域和与圆形区域相邻的环形区域的交界处，如果该交界处位于圆形区域时，它的折射率比其位于环形区域时的折射率小；同理相邻的两个环形区域也如此。如图 9 所示，给出 $n_{\max} \sim n_{\min}$ 的折射率变化图，即在圆形区域内，折射率随着半径的增加从圆心处的最大值 n_{\max} 逐进减小到最小值 n_{\min} ，在环形区域也如此，但是应知本发明的折射率变化并不以此为限。本发明设计目的为：使电磁波经过各超材料核心层 210 时，电磁波偏折角度被逐渐改变并最终平行辐射。通过公式 $\sin \theta = q \cdot \Delta n$ ，其中 θ 为所需偏折电磁波的角度、 Δn 为前后折射率变化差值， q 为超材料功能层的厚度并通过计算机仿真即可确定所需参数值并达到本发明设计目的。

图 8 为图 9 所示超材料核心层折射率分布图的 O-O' 视图。作为公知常识我们可知，电磁波的折射率与 $\sqrt{\epsilon\mu}$ 成正比关系，其中 μ 为磁导率， ϵ 为介电常数，当一束电磁波由一种介质传播到另外一种介质时，电磁波会发生折射，当物质内部的折射率分布非均匀时，电磁波就会向折射率比较大的位置偏折，因此，

设计超材料面板 20 内核心层 210 各点的折射率使其满足上述折射率变化规律，需要说明的是，由于实际上超材料单元是一个立方体而非一个点，因此上述圆形面域只是近似描述，实际上的折射率相同或基本相同的超材料单元是在一个锯齿形圆周上分布的。其具体设计类似于计算机用方形像素点绘制圆形、椭圆形等平滑曲线时进行描点的编程模式（例如 OpenGL），当像素点相对于曲线很小时曲线显示为光滑，而当像素点相对于曲线较大时曲线显示有锯齿。

为使超材料核心层 210 实现图 8 以及图 9 所示折射率的变化，经过理论和实际证明，可对所述人造金属微结构 212 的拓扑图案、几何尺寸以及其在单元基材 211 和第一填充层 213 上分布的设计，单元基材 211 采用介电绝缘材料制成，可以为陶瓷材料、高分子材料、铁电材料、铁氧材料、铁磁材料等，高分子材料例如可以是、环氧树脂或聚四氟乙烯。人造金属微结构 212 为以一定的几何形状附着在单元基材 211 上能够对电磁波有响应的金属线，金属线可以是剖面为圆柱状或者扁平状的铜线、银线等，一般采用铜，因为铜丝相对比较便宜，当然金属线的剖面也可以为其他形状，金属线通过蚀刻、电镀、钻刻、光刻、电子刻或离子刻等工艺附着在单元基材 211 上，所述第一填充层 213 可以填充不同材料的介质，可以与单元基材 211 相同的材料，也可以是人造金属微结构，还可以是空气，所述每一核心层 210 由多个超材料单元组成，每超材料单元都具有一个人造金属微结构，每一个超材料单元都会对通过其中的电磁波产生响应，从而影响电磁波在其中的传输，每个超材料单元的尺寸取决于需要响应的电磁波，通常为所需响应的电磁波波长的十分之一，否则空间中包含人造金属微结构 212 的超材料单元所组成的排列在空间中不能被视为连续。

在单元基材 211 的选定的情况下，通过调整人造金属微结构 212 的图案、尺寸及其在单元基材 211 上的空间分布和在第一填充层 213 填充不同折射率的介质，可以调整超材料上各处的等效介电常数及等效磁导率进而改变超材料各处的等效折射率。当人造金属微结构 212 采用相同的几何形状时，某处人造金属微结构的尺寸越大，则该处的等效介电常数越大，折射率也越大。

本实施例采用的人造金属微结构 212 的图案为工字形的衍生图案，由图 7 可知，雪花状人造金属微结构 212 的尺寸从中心由最大值向周围逐渐变小为最小值，然后又从最大值逐渐变小这样周期性变化，在每一核心层 210 中心处，雪花状的人造金属微结构 212 的尺寸最大，并且在距离中心相同半径处的雪花状人造金属微结构 212 的尺寸相同，因此每一核心层 210 的等效介电常数由中间向四周逐渐变小的周期性变化，中间的等效介电常数最大，因而每一核心层 210 的折射率从中间向四周逐渐变小地周期性变化，中间部分的折射率最大。

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，人造金属微结构 212 的图案可以是二维、也可以是三维结构，不限于该实施例中使用的“工”字形，可以为“工”字形的衍生结构，可以在三维空间中各条边相互垂直的雪花状及雪花状的衍生结构，也可以是其他的几何形状，其中不同的人造金属微结构可以是图案相同，但是其设计尺寸不同；也可以是图案和设计尺寸均不相同，只要满足由天线单元发出的电磁波经过超材料面板 20 传播后可以平行射出即可。

本发明实施例中，所述超材料面板 20 的每一核心层 210 的折射率以其中心为圆心，随着半径 r 的变化规律如以下表达式：

$$n(r) = n_{\max} - \frac{\sqrt{ss^2 + r^2} - ss - k\lambda}{d}$$

式中 n_{\max} 表示所述每一核心层 210 中的最大折射率值， d 表示所有核心层的总厚度， ss 表示所述馈源 10 到最靠近馈源 10 位置的核心层 210 的距离， $n(r)$ 表示所述每一核心层内半径 r 处折射率值， λ 表示馈源 10 辐射出电磁波的波长，其中，

$$d = \frac{\lambda}{n_{\max} - n_{\min}}, \quad k = \text{floor}\left(\frac{\sqrt{ss^2 + r^2} - ss}{\lambda}\right),$$

n_{\min} 表示超材料面板 20 中每一核心层内的最小折射率值， floor 表示向下取整。

通常当电磁波从一种介质传输到另一种介质的时候，由于阻抗不匹配的问题

题，会出现一部分电磁波反射，这样影响电磁波的传输性能，本发明中，当从馈源 10 辐射出来的电磁波入射到超材料面板 20 时同样会产生反射，为了减少反射对雷达天线的影 响，我们在超材料面板 20 的核心层 210 两侧堆成设置多个超材料渐变层 220，如图 3 所示。

如图 5 所示，每一超材料渐变层 220 均包括片状的基板层 221、片状的第二填充层 223 以及设置在所述基板层 221 和第二填充层 223 之间的空气层 222。所述基板层 221 可选用高分子聚合物、陶瓷材料、铁电材料、铁氧材料等。其中高分子聚合物优选 FR-4 或 F4B 材料。多个超材料渐变层 220 之间的折射率是不同的，为了匹配空气与核心层 210 的阻抗，通常是通过调整所述空气层 222 的宽度和通过在第二填充层 223 内填充含有不同折射率的介质来实现阻抗匹配，该介质也可以是与基板层 221 相同的材料也可以是空气，其中靠近空气的超材料渐变层 220 的折射率最接近空气且超核心层 210 方向折射率逐渐增加。

本发明中实施例中，所述超材料面板 20 的每一渐变层内 220 的折射率均匀分布的，且多个渐变层 220 间折射率分布的变化规律如以下表达式：

$$n_i = \left(\frac{n_{\max} + n_{\min}}{2} \right)^{\frac{i}{m}}, \quad i=1, 2, 3, \dots, m,$$

其中 n_i 表示第 i 层渐变层 220 的折射率值， m 表示渐变层 220 的层数， n_{\min} 表示所述每一核心层 210 内的最小折射率值， n_{\max} 表示所述每一核心层 210 中的最大折射率值，其中第 m 层渐变层 220 与核心层 210 靠近，随着 m 值的变小逐渐远离核心层 210，第 1 层渐变层为最外层渐变层。

综上所述，本发明的一种后馈式雷达天线通过改变超材料面板 20 内部的折射率分布情况，使得天线远场功率大大地增强了，进而提升了天线传播的距离，同时通过在天线腔体内部设置一层吸波材料层 40，增加了天线的前后比，使得天线更具方向性。

图 10 是本发明第二实施例的后馈式雷达天线的结构示意图，该天线包括馈源 10、超材料面板 20'、外壳 30 以及吸波材料层 40，所述馈源 10 固定于外壳 30 上，吸波材料层 40 紧贴于外壳 30 内壁，所述吸波材料层 40 与超材料面板

20'相连，且吸波材料层 40 和超材料面板 20'共同组成一个封闭的腔体，所述馈源 10 位于所述腔体内。

通常从馈源 10 辐射的电磁波是球面电磁波，但是球面电磁波的远场方向性能不好，对于远距离以球面电磁波为载体的信号传输有很大的局限性，而且衰减快，本发明通过在馈源 10 传输方向上设计一具有电磁波汇聚功能的超材料面板 20'，该超材料面板 20'将馈源 10 辐射出来的大部分电磁波从球面电磁波转换为平面电磁波，使得雷达天线的方向性更好，天线主瓣能量密度更高，能量更大，进而以该平面电磁波为载体的信号传输距离更远。

为了增强雷达天线的前后比，我们通常是降低天线副瓣和后瓣的电磁波能量，本发明中采用在所述外壳 30 的内壁紧贴一层吸波材料层 40，用于吸收除主瓣方向以外的电磁波能量，所述外壳 30 用于固定所述馈源 10，一般采用金属材料或者 ABS 材料。

图 11 所示，所述超材料面板 20'包括多个具有相同折射率分布的核心层 210'以及对称分布在所述多个核心层两侧的多个渐变层 220'，所述核心层 210'也就是超材料面板 20'的功能层，由多个超材料单元组成，由于超材料面板 20'需对电磁波产生连续响应，因此超材料单元尺寸应小于所需响应电磁波波长的五分之一，本实施例优选为电磁波波长的十分之一。如图 13 所示，所述超材料单元包括设置有一个或多个小孔 212'的单元基材 211'，即所述超材料单元包括具有人造孔结构 212'的单元基材 211'。这样设置有小孔 212'的每一核心层 210'叠加在一起就构成超材料面板 20'的功能层，如图 12 所示。

所述超材料面板 20'的多个核心层 210'通过改变其内部的折射率分布以实现通过所述超材料面板 20'后的电磁波等相位辐射，即实现从所述馈源 10 辐射出的球面电磁波转换为平面电磁波。在本实施例中，折射率的分布与上一实施例相同。本发明中每个超材料核心层 210'的折射率分布均相同，这里仅对一个超材料核心层 210'的折射率分布规律进行详细描述。通过对小孔 212'的体积、小孔 212'内填充的介质以及小孔 212'的密度的设计使得每个超材料核心层

210' 的折射率分布如图 9 所示。所述超材料面板 20' 的每一核心层 210' 包括一个以其中心为圆心的圆形区域和多个与圆形区域同心的环形区域，在所述圆形区域内，随着半径的增加折射率逐渐减小；在所述每一环形区域内，随着半径的增加折射率也逐渐减小，且相连的两个区域的交界处发生折射率突变，即交界处的折射率在位于半径大的区域时比位于半径小的区域时要大。例如：所述圆形区域和与圆形区域相邻的环形区域的交界处，如果该交界处位于圆形区域时，它的折射率比其位于环形区域时的折射率小；同理相邻的两个环形区域也如此。图 9 中给出 $n_{\max} \sim n_{\min}$ 的折射率变化图，即在圆形区域内，折射率随着半径的增加从圆心处的最大值 n_{\max} 逐进减小到最小值 n_{\min} ，在环形区域也如此，但是应知本发明的折射率变化并不以此为限。本发明设计目的为：使电磁波经过各超材料核心层 210' 时，电磁波偏折角度被逐渐改变并最终平行辐射。通过公式 $\sin \theta = q \cdot \Delta n$ ，其中 θ 为所需偏折电磁波的角度、 Δn 为前后折射率变化差值， q 为超材料功能层的厚度并通过计算机仿真即可确定所需参数值并达到本发明设计目的。

为使功能层实现图 8 以及图 9 所示折射率的变化，可对小孔 212' 的体积、小孔 212' 内填充的介质以及小孔 212' 的密度进行设计。下面详细论述两种较佳实施方式。

如图 12 所示，超材料面板 20' 的每一核心层 210' 由多个超材料单元组成，每一超材料单元包括设置有一个小孔 212' 的单元基材 211'。单元基材 211' 可选用高分子聚合物、陶瓷材料、铁电材料、铁氧材料等。其中高分子聚合物优选 FR-4 或 F4B 材料。对应不同的单元基材 211' 可采用不同的工艺在单元基材 211' 上形成小孔 212'，例如当单元基材 211' 选用高分子聚合物时，可通过钻床钻孔、冲压成型或者注塑成型等方式形成小孔 212'，当单元基材 211' 选用陶瓷时则可通过钻床钻孔、冲压成型或者高温烧结等方式形成小孔 212'。

小孔 212' 内可填充介质，本较佳实施方式中，小孔 212' 内填充的介质均为空气，而空气折射率必然小于单元基材 211' 的折射率，当小孔 212' 体积越大时，

小孔 212' 所在的超材料单元的折射率则越小。本较佳实施方式中，设置在超材料单元内的小孔 212' 的体积在每一核心层 210' 内的排布规律为：所述超材料面板的每一核心层 210' 包括一个以其中心为圆心的圆形区域和多个与圆形区域同心的环形区域，在所述圆形区域内，随着半径的增加在所述超材料单元上形成的小孔 212' 的体积也逐渐增加；在所述每一环形区域内，随着半径的增加在所述超材料单元上形成的小孔 212' 的体积也逐渐增加，且相连的两个区域的交界处发生小孔 212' 的体积突变，即交界处在所述超材料单元上形成的小孔 212' 的体积在位于半径大的区域时比位于半径小的区域时要小。具有相同半径的圆形区域或者各个环形区域处的超材料单元上形成的小孔 212' 的体积相同。可以想象地，当小孔 212' 内填充有折射率大于单元基材 211' 的同种介质时，则此时小孔 212' 体积越大，小孔 212' 所占据的超材料单元的折射率亦越大，因此此时设置在超材料单元内的小孔 212' 在每一核心层 210' 内的排布规律将与小孔 212' 内填充空气的排布规律完全相反。

本发明的另一实施例，与第一较佳实施方式的不同点在于，每一超材料单元中存在多个体积相同的小孔 212'，这样能简化在单元基材 211' 上设置小孔 212' 的工艺难度。与第一较佳实施方式相同的地方在于，本较佳实施方式中每一超材料单元中所有小孔占超材料单元的体积的分布规律与第一较佳实施方式相同，即分为两种情况：（1）所有小孔内填充的介质折射率小于单元基材折射率时，且所有超材料单元内的小孔 212' 都填充相同材料的介质，所述超材料面板 20' 的每一核心层 210' 包括一个以其中心为圆心的圆形区域和多个与圆形区域同心的环形区域，在所述圆形区域内，随着半径的增加在所述超材料单元上形成的小孔 212' 的数量逐渐增加；在所述每一环形区域内，随着半径的增加在所述超材料单元上形成的小孔 212' 的数量也逐渐增加，且相连的两个区域的交界处发生小孔 212' 的数量突变，即交界处在所述超材料单元上形成的小孔 212' 的数量在位于半径大的区域时比位于半径小的区域时要少。具有相同半径的圆形区域或者各个环形区域处的超材料单元上形成的小孔 212' 的数量相同。本较佳

实施方式即为此种情况且所有小孔 212' 内填充介质为空气；(2)所有小孔 212' 内填充的介质折射率大于基板折射率时，且所有超材料单元内的小孔 212' 都填充相同材料的介质，所述超材料面板 20' 的每一核心层 210' 包括一个以其中心为圆心的圆形区域和多个与圆形区域同心的环形区域，在所述圆形区域内，随着半径的增加在所述超材料单元上形成的小孔 212' 的数量逐渐减小；在所述每一环形区域内，随着半径的增加在所述超材料单元上形成的小孔 212' 的数量逐渐减小，且相连的两个区域的交界处发生小孔 212' 的数量突变，即交界处在所述超材料单元上形成的小孔 212' 的数量在位于半径大的区域时比位于半径小的区域时多。具有相同半径的圆形区域或者各个环形区域处的超材料单元上形成的小孔 212' 的数量相同。

本发明实施例中，所述超材料面板 20' 的每一核心层 210' 的折射率以其中心为圆心，随着半径 r 的变化规律如以下表达式：

$$n(r) = n_{\max} - \frac{\sqrt{ss^2 + r^2} - ss - k\lambda}{d};$$

式中 n_{\max} 表示所述每一核心层 210' 中的最大折射率值， d 表示所有核心层的总厚度， ss 表示所述馈源 10 到最靠近馈源 10 位置的核心层 210' 的距离， $n(r)$ 表示所述每一核心层 210' 内半径 r 处折射率值， λ 表示馈源 10 辐射出电磁波的波长，其中，

$$d = \frac{\lambda}{n_{\max} - n_{\min}}, \quad k = \text{floor}\left(\frac{\sqrt{ss^2 + r^2} - ss}{\lambda}\right),$$

n_{\min} 表示超材料面板 20' 中每一核心层 210' 内的最小折射率值， floor 表示向下取整。

通常当电磁波从一种介质传输到另一种介质的时候，由于阻抗不匹配的问题，会出现一部分电磁波反射，这样影响电磁波的传输性能，本发明中，当从馈源 10 辐射出来的电磁波入射到超材料面板 20' 时同样会产生反射，为了减少反射对雷达天线的影晌，我们在超材料面板 20' 的核心层 210' 两侧堆成设置多个超材料渐变层 220'，如图 11 所示。

如图 14 所示, 每一超材料渐变层 220' 均包括片状的第二基板层 221'、片状的填充层 223 以及设置在所述第二基板层 221' 和填充层 223' 之间的空气层 222'。第二基板层 221' 可选用高分子聚合物、陶瓷材料、铁电材料、铁氧材料等。其中高分子聚合物优选 FR-4 或 F4B 材料。每一渐变层 220' 内的折射率分布是均匀的, 多个超材料渐变层之间的折射率是不同的, 为了匹配空气与核心层 210' 的阻抗, 通常是通过调整所述空气层 222' 的距离和通过在填充层 223' 内填充含有不同折射率的介质来实现阻抗匹配, 该介质也可以是与第二基板层 221' 相同的材料也可以是空气, 其中靠近空气的超材料渐变层 220' 的折射率最接近空气且朝核心层 210' 方向折射率逐渐增加。

本发明中实施例中, 所述超材料面板 20' 的每一渐变层 220' 内的折射率均匀分布的, 且多个渐变层 220' 间 (以核心层 210' 一侧的多个渐变层 220 为例) 折射率分布的变化规律如以下表达式:

$$n_i = \left(\frac{n_{\max} + n_{\min}}{2} \right)^{\frac{i}{m}}, \quad i=1, 2, 3, \dots, m,$$

其中 n_i 表示第 i 层渐变层的折射率值, m 表示渐变层的层数, n_{\min} 表示所述每一核心层内的最小折射率值, n_{\max} 表示所述每一核心层中的最大折射率值, 其中第 m 层渐变层与核心层靠近, 随着 m 值的变小逐渐远离核心层, 第一层渐变层为最外层渐变层。

综上所述, 本发明的一种后馈式雷达天线通过改变超材料面板 20' 内部的折射率分布情况, 使得天线远场功率大大地增强了, 进而提升了天线传播的距离, 同时通过在天线腔体内部设置一层吸波材料层 40, 增加了天线的前后比, 使得天线更具方向性。

以上所述仅为本发明的实施例, 并非因此限制本发明的专利范围, 凡是利用本发明说明书及附图内容所作的等效结构或等效流程变换, 或直接或间接运用在其他相关的技术领域, 均同理包括在本发明的专利保护范围内。

权利要求

1、一种后馈式雷达天线，所述天线包括：馈源，用于辐射电磁波；超材料面板，用于将所述馈源辐射出的电磁波从球面电磁波转化为平面电磁波，其特征在于，所述超材料面板包括多个具有相同折射率分布的核心层，所述每一核心层包括多个超材料单元，所述超材料单元包括具有人造金属微结构或是人造孔结构的单元基材，所述超材料面板的每一核心层包括一个以其中心为圆心的圆形区域和多个与圆形区域同心的环形区域，在所述圆形区域内，随着半径的增加折射率逐渐减小；在所述每一环形区域内，随着半径的增加折射率也逐渐减小，且相连的两个区域的交界处发生折射率突变，即交界处的折射率位于半径大的区域时比位于半径小的区域时要大。

2、根据权利要求1所述的雷达天线，其特征在于，所述雷达天线还包括外壳，用于固定所述馈源；以及紧贴于所述外壳内壁的吸波材料层，用于吸收从馈源辐射出来的部分电磁波；所述吸波材料层和超材料面板共同构成封闭的腔体；所述馈源位于所述腔体内。

3、根据权利要求1所述的雷达天线，其特征在于，所述超材料面板还包括对称分布于所述核心层两侧的多个渐变层，所述每一渐变层均包括片状的基板层、片状的填充层以及设置在所述基板层和填充层之间的空气层，所述填充层内填充的介质包括空气以及与所述基板层相同材料的介质。

4、根据权利要求1所述的雷达天线，其特征在于，在所述圆形区域内，圆心处的折射率为最大值 n_{\max} ，且随着半径的增加折射率从最大值 n_{\max} 逐渐减小到最小值 n_{\min} ；在所述每一环形区域内，随着半径的增加折射率也是从最大值 n_{\max} 逐渐减小到最小值 n_{\min} 。

5、根据权利要求1所述的雷达天线，其特征在于，所述超材料面板的每一核心层的折射率以其中心为圆心，随着半径 r 的变化规律如以下表达式：

$$n(r) = n_{\max} - \frac{\sqrt{ss^2 + r^2} - ss - k\lambda}{d};$$

式中 n_{\max} 表示所述每一核心层中的最大折射率值， d 表示所有核心层的总厚度， ss 表示所述馈源到最靠近馈源位置的核心层的距离， $n(r)$ 表示所述每一核心层内半径 r 处折射率值， λ 表示馈源辐射出电磁波的波长，其中，

$$d = \frac{\lambda}{n_{\max} - n_{\min}}, \quad k = \text{floor}\left(\frac{\sqrt{ss^2 + r^2} - ss}{\lambda}\right),$$

n_{\min} 表示超材料面板中多个核心层内的最小折射率值， floor 表示向下取整。

6、根据权利要求 1 所述的雷达天线，其特征在于，所述超材料面板的每一渐变层内的折射率均匀分布的，且多个渐变层间折射率分布的变化规律如以下表达式：

$$n_i = \left(\frac{n_{\max} + n_{\min}}{2}\right)^{\frac{i}{m}}, \quad i=1, 2, 3, \dots, m,$$

其中 n_i 表示第 i 层渐变层的折射率值， m 表示渐变层的层数， n_{\min} 表示所述每一核心层内的最小折射率值， n_{\max} 表示所述每一核心层中的最大折射率值，其中第 m 层渐变层与核心层靠近，随着 m 值的变小逐渐远离核心层，第一层渐变层为最外层渐变层。

7、根据权利要求 1 所述的雷达天线，其特征在于，所述人造金属微结构为由至少一根金属丝组成对电磁场有响应的平面结构或立体结构，所述金属丝为铜丝或银丝，所述金属丝通过蚀刻、电镀、钻刻、光刻、电子刻或离子刻的方法附着在所述单元基材上。

8、根据权利要求 7 所述的雷达天线，其特征在于，所述超材料单元还包括第一填充层，所述人造金属微结构位于所述单元基材和第一填充层之间，所述第一填充层内填充的材料包括空气、人造金属微结构以及与所述单元基材相同材料的介质。

9、根据权利要求 7 所述的雷达天线，其特征在于，所述人造金属微结构为在“工”字形、“工”字形的衍生形、雪花状或雪花状的衍生形任意一种。

10、根据权利要求 1 所述的雷达天线，其特征在于，所述第一基板层和第二基板层均由陶瓷材料、环氧树脂、聚四氟乙烯、FR-4 复合材料或 F4B 复合材

料制得。

11、根据权利要求 1 所述的雷达天线，其特征在于，所述每一超材料单元上形成有一个小孔，所述小孔内填充有折射率小于单元基材折射率的介质，且所有超材料单元内的小孔都填充相同材料的介质，所述设置在超材料单元内的小孔体积在每一核心层内的排布规律为：所述超材料面板的每一核心层包括一个以其中心为圆心的圆形区域和多个与圆形区域同心的环形区域，在所述圆形区域内，随着半径的增加在所述超材料单元上形成的小孔体积也逐渐增加；在所述每一环形区域内，随着半径的增加在所述超材料单元上形成的小孔体积也逐渐增加，且相连的两个区域的交界处发生小孔体积突变，即交界处在所述超材料单元上形成的小孔体积在位于半径大的区域时比位于半径小的区域时要小。

12、根据权利要求 1 所述的雷达天线，其特征在于，所述每一超材料单元上形成有一个小孔，所述小孔内填充有折射率大于单元基材折射率的介质，且所有超材料单元内的小孔都填充相同材料的介质，所述设置在超材料单元内的小孔体积在每一核心层内的排布规律为：所述超材料面板的每一核心层包括一个以其中心为圆心的圆形区域和多个与圆形区域同心的环形区域，在所述圆形区域内，随着半径的增加在所述超材料单元上形成的小孔体积减小；在所述每一环形区域内，随着半径的增加在所述超材料单元上形成的小孔体积也逐渐减小，且相连的两个区域的交界处发生小孔体积突变，即交界处在所述超材料单元上形成的小孔体积在位于半径大的区域时比位于半径小的区域时要大。

13、根据权利要求 1 所述的雷达天线，其特征在于，所述超材料单元上形成有数量不同、体积相同的小孔，所述小孔内填充有折射率小于单元基材折射率的介质，且所有超材料单元内的小孔都填充相同材料的介质，所述设置在超材料单元内的小孔数量在每一核心层内的排布规律为：所述超材料面板的每一核心层包括一个以其中心为圆心的圆形区域和多个与圆形区域同心的环形区域，在所述圆形区域内，随着半径的增加在所述超材料单元上形成的小孔数量

逐渐增加；在所述每一环形区域内，随着半径的增加在所述超材料单元上形成的小孔数量也逐渐增加，且相连的两个区域的交界处发生小孔数量突变，即交界处在所述超材料单元上形成的小孔数量在位于半径大的区域时比位于半径小的区域时要少。

14、根据权利要求 1 所述的雷达天线，其特征在于，所述超材料单元上形成有数量不同、体积相同的小孔，所述小孔内填充有折射率大于单元基材折射率的介质，且所有超材料单元内的小孔都填充相同材料的介质，所述设置在超材料单元内的小孔数量在每一核心层内的排布规律为：所述超材料面板的每一核心层包括一个以其中心为圆心的圆形区域和多个与圆形区域同心的环形区域，在所述圆形区域内，随着半径的增加在所述超材料单元上形成的小孔数量逐渐减小；在所述每一环形区域内，随着半径的增加在所述超材料单元上形成的小孔数量逐渐减小，且相连的两个区域的交界处发生小孔数量突变，即交界处在所述超材料单元上形成的小孔数量在位于半径大的区域时比位于半径小的区域时要多。

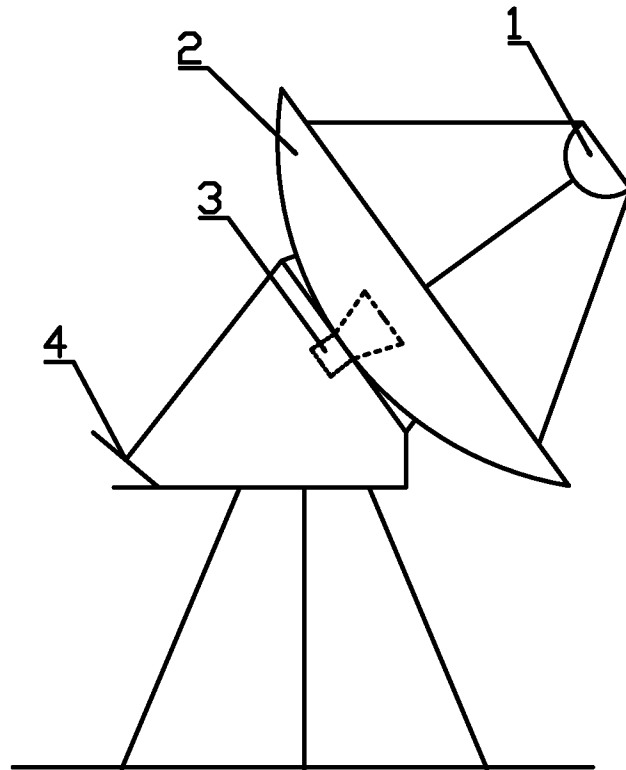


图 1

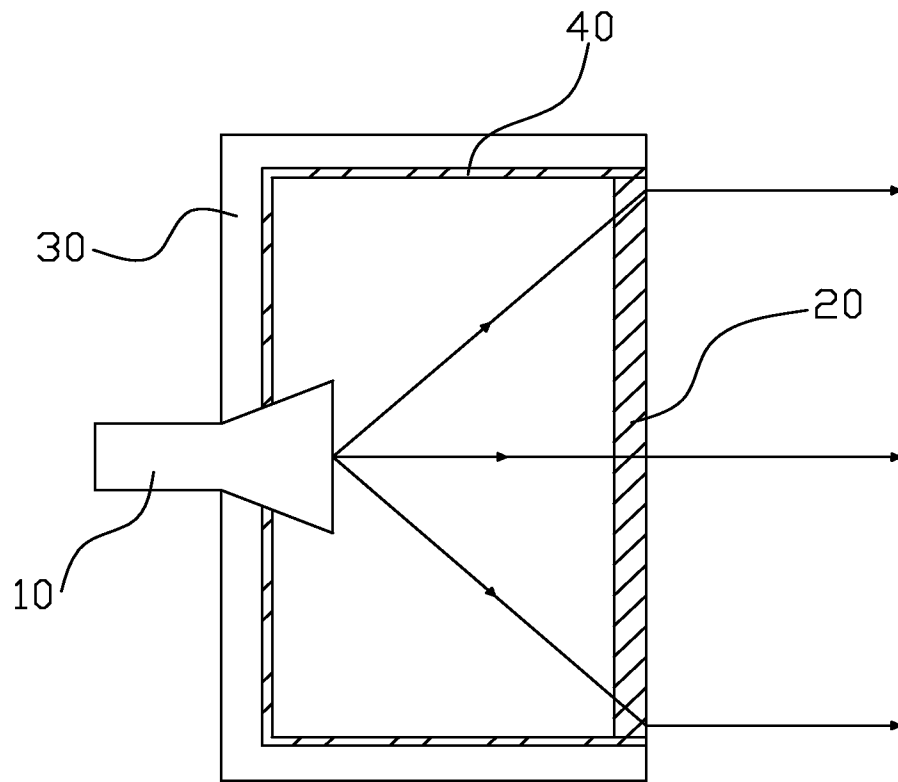


图 2

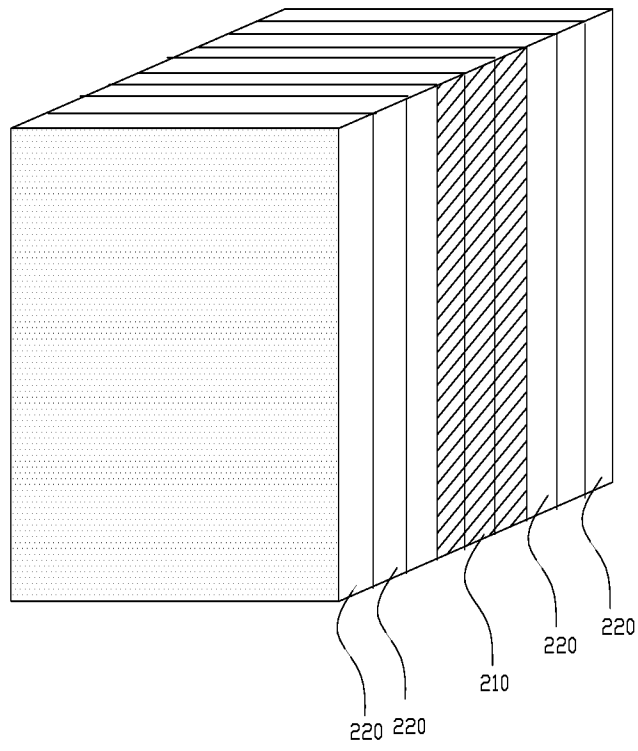


图 3

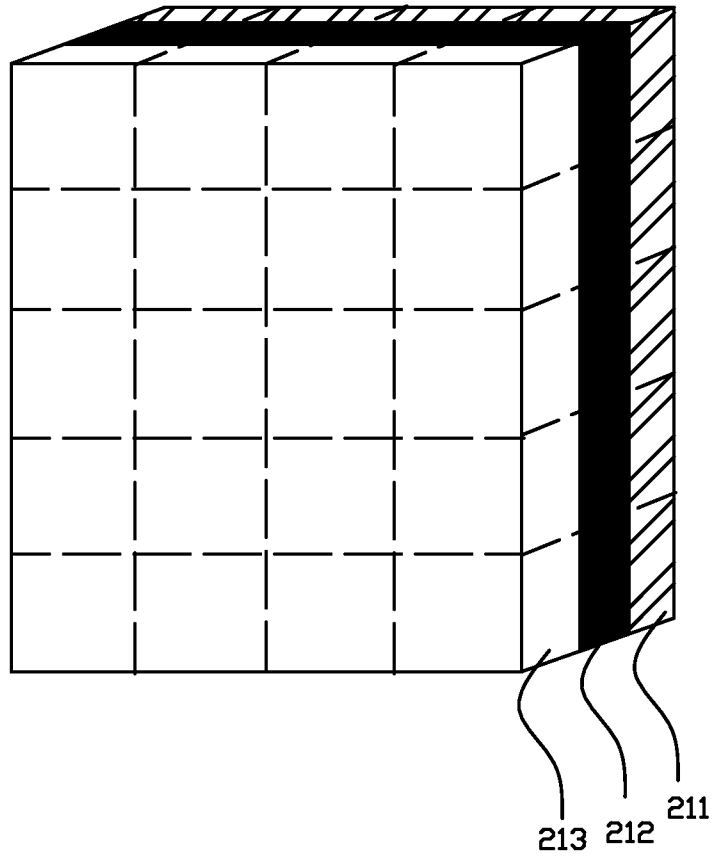


图 4

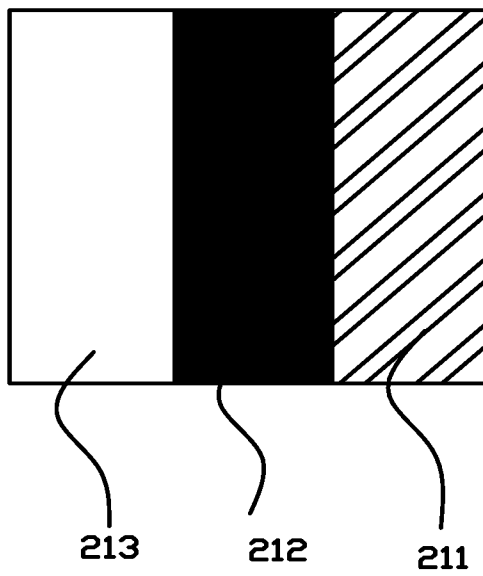


图 5

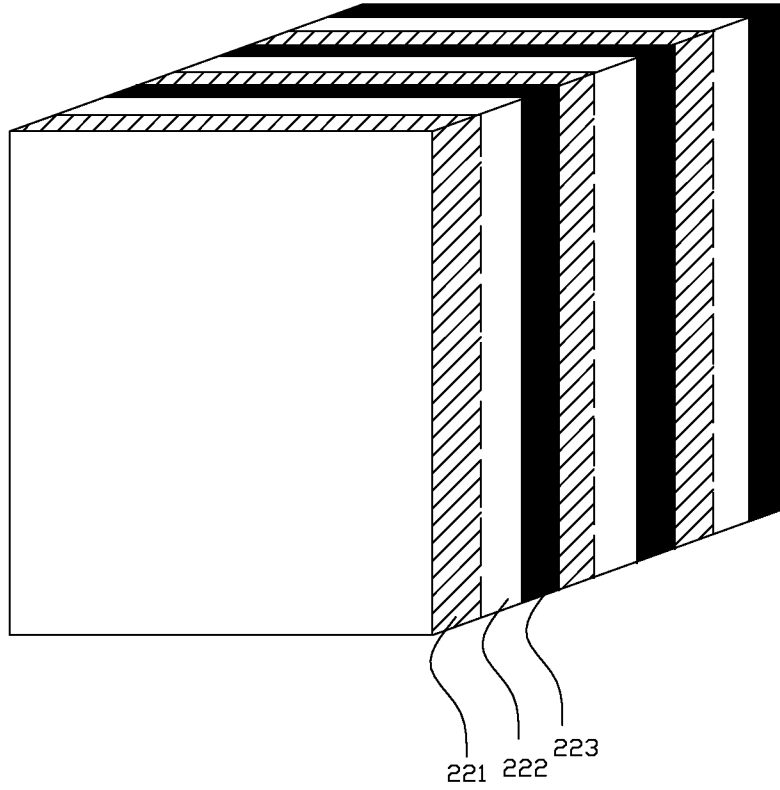


图 6

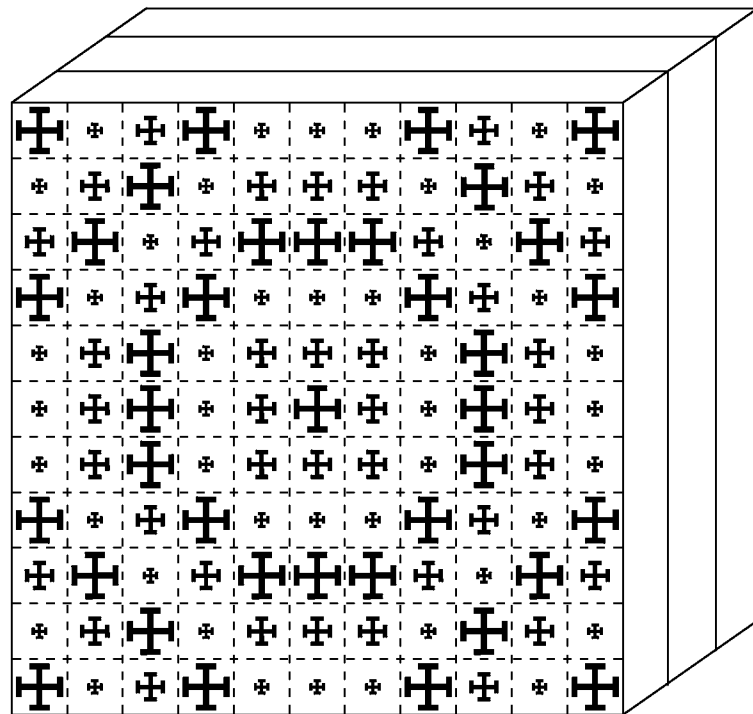


图 7

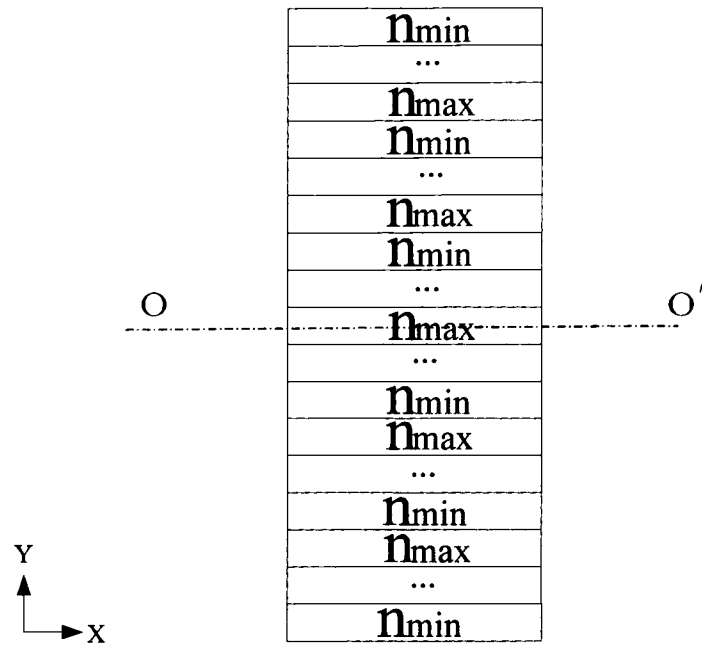


图 8

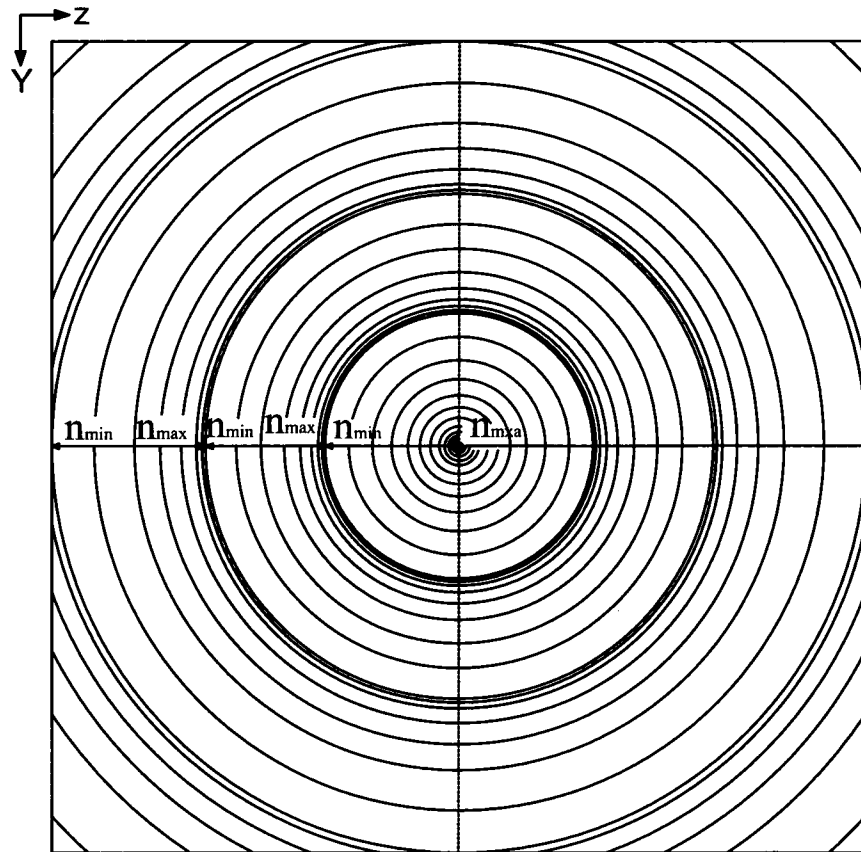


图 9

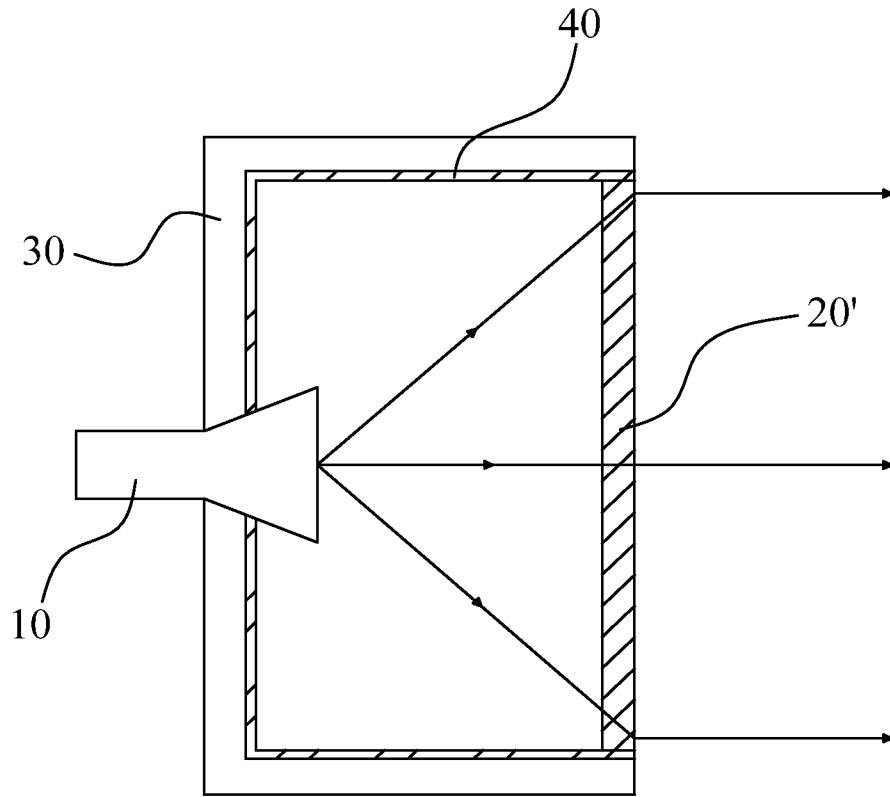


图 10

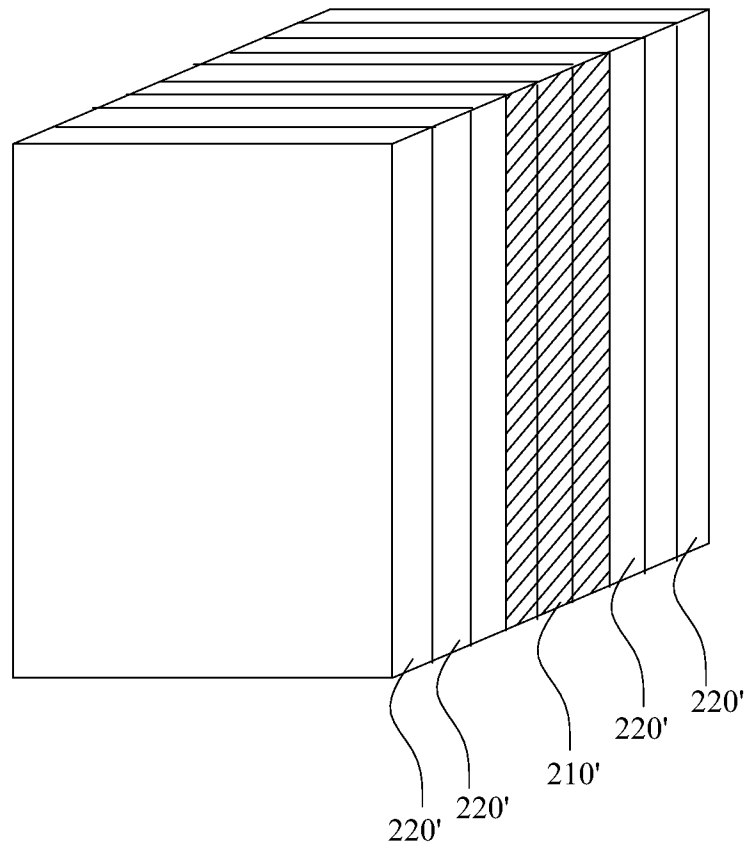


图 11

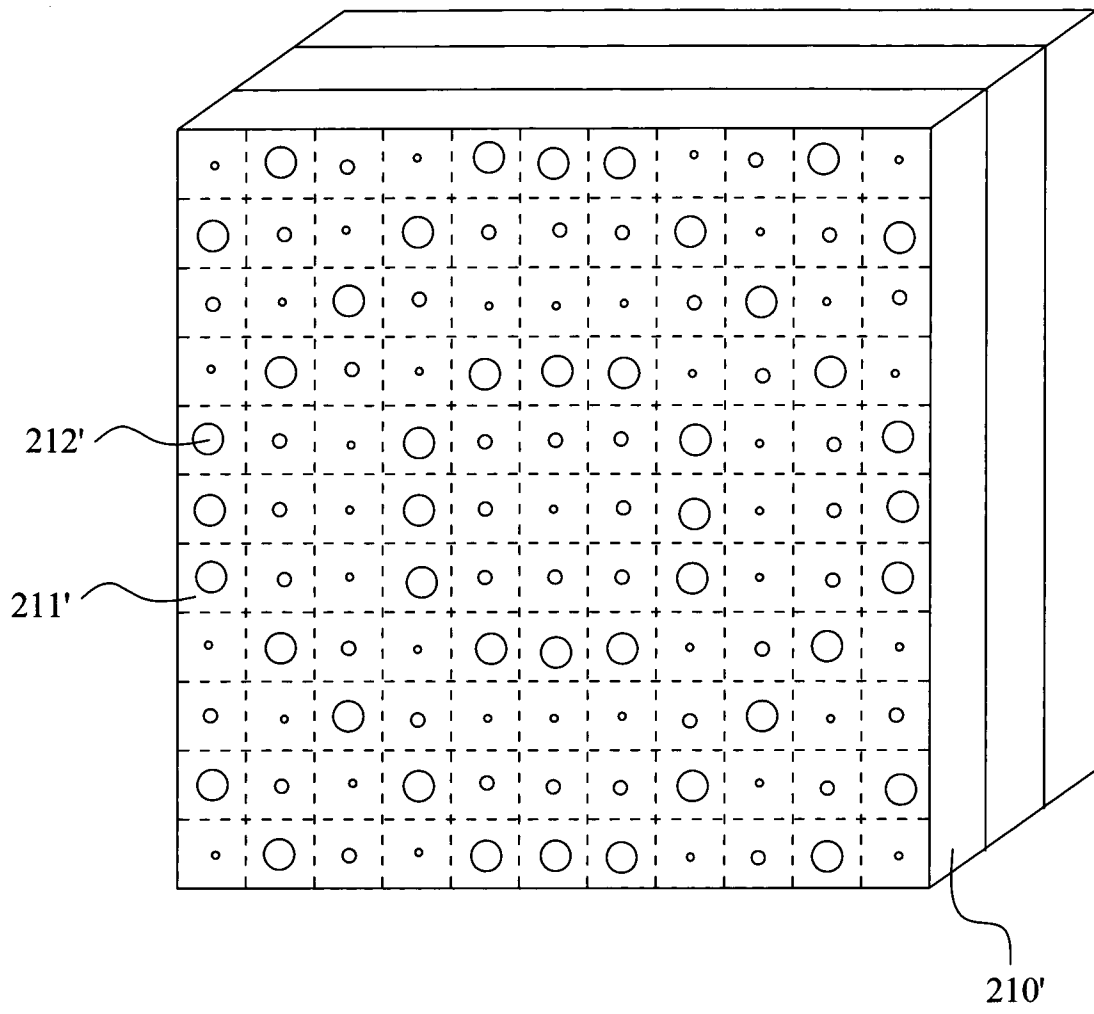


图 12

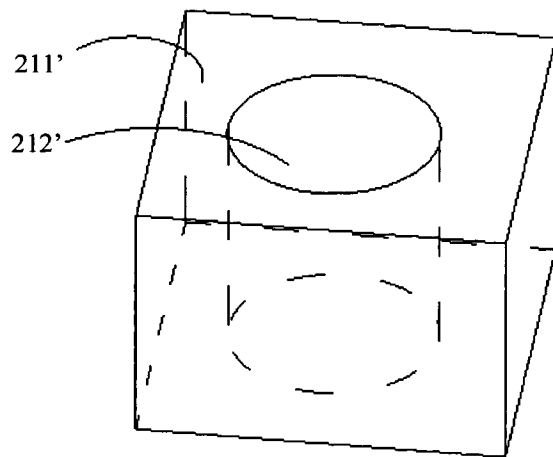


图 13

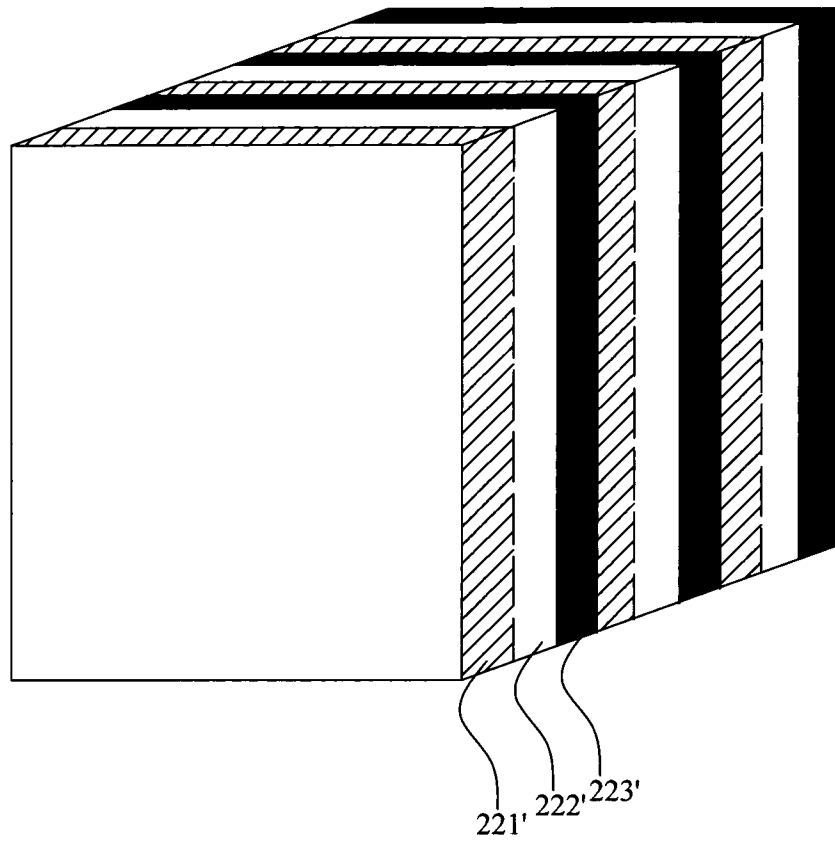


图 14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2011/082841

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

See the extra sheet

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: H01Q

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)

CNABS; CNTXT; CNKI: antenna, metamaterial, left handed material, left-handed and right-handed materials, artificial electromagnetic, photonic crystal, index of refraction, radius, feed source

VEN; IEEE: antenna?, aerial?, metamaterial?, left 1w handed?, artificial electromagnetic material?, PBG, refractive 1w index, index 3w refraction, radius, radial, radii, feed???

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 101587990 A (SOUTHEAST UNIVERSITY), 25 November 2009 (25.11.2009), the whole document	1-14
A	CN 201450116 U (SOUTHEAST UNIVERSITY), 05 May 2010 (05.05.2010), the whole document	1-14
A	CN 101867094 A (LANZHOU UNIVERSITY), 20 October 2010 (20.10.2010), the whole document	1-14
A	CN 101699659 A (SOUTHEAST UNIVERSITY), 28 April 2010 (28.04.2010), the whole document	1-14
A	US 2011095953 A1 (LOCKHEED MARTIN CORP.), 28 April 2011 (28.04.2011), the whole document	1-14

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search
10 April 2012 (10.04.2012)

Date of mailing of the international search report
03 May 2012 (03.05.2012)

Name and mailing address of the ISA/CN:
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
MA, Jing
Telephone No.: (86-10) **62411523**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2011/082841

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 101587990 A	25.11.2009	None	
CN 201450116 U	05.05.2010	None	
CN 101867094 A	20.10.2010	None	
CN 101699659 A	28.04.2010	None	
US 2011095953 A1	28.04.2011	WO 2011087538 A2	21.07.2011
		WO 2011087538 A8	12.01.2012
		WO 2011087538 A3	03.11.2011

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2011/082841

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01Q 15/00 (2006.01) i

H01Q 15/02 (2006.01) i

H01Q 19/06 (2006.01) i

H01Q 17/00 (2006.01) i

A. 主题的分类		
见附加页		
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: H01Q		
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))		
CNABS; CNTXT; CNKI: 天线, 超材料, 左手材料, 左右手材料, 人工电磁, 光子晶体, 折射率, 半径, 馈源 VEN; IEEE: antenna?, aerial?, metamaterial?, left 1w handed?, artificial electromagnetic material?, PBG, refractive 1w index, index 3w refraction, radius, radial, radii, feed???		
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	CN101587990A (东南大学) 25.11 月 2009(25.11.2009) 全文	1-14
A	CN201450116U (东南大学) 05.5 月 2010(05.05.2010) 全文	1-14
A	CN101867094A (兰州大学) 20.10 月 2010(20.10.2010) 全文	1-14
A	CN101699659A (东南大学) 28.4 月 2010(28.04.2010) 全文	1-14
A	US2011095953A1 (LOCKHEED MARTIN CORP.) 28.4 月 2011(28.04.2011) 全文	1-14
<input type="checkbox"/> 其余文件在 C 栏的续页中列出。 <input checked="" type="checkbox"/> 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 10.4 月 2012(10.04.2012)		国际检索报告邮寄日期 03.5 月 2012 (03.05.2012)
ISA/CN 的名称和邮寄地址: 中华人民共和国国家知识产权局 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 100088 传真号: (86-10)62019451		授权官员 马菁 电话号码: (86-10) 62411523

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2011/082841

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN101587990A	25.11.2009	无	
CN201450116U	05.05.2010	无	
CN101867094A	20.10.2010	无	
CN101699659A	28.04.2010	无	
US2011095953A1	28.04.2011	WO2011087538A2	21.07.2011
		WO2011087538A8	12.01.2012
		WO2011087538A3	03.11.2011

A. 主题的分类

H01Q15/00 (2006.01) i

H01Q15/02 (2006.01) i

H01Q19/06 (2006.01) i

H01Q17/00 (2006.01) i