

# (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  
2012年9月20日 (20.09.2012)



(10) 国际公布号  
WO 2012/122823 A1

- (51) 国际专利分类号:  
H01P 1/165 (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2011/082810
- (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:  
201110061752.5 2011年3月15日 (15.03.2011) CN  
201110111506.6 2011年4月30日 (30.04.2011) 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)。 **徐冠雄 (XU, Guanxiong)** [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)。 **廖臻 (LIAO, Zhen)** [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: METAMATERIAL POLARIZATION CONVERTER

(54) 发明名称: 一种超材料极化转换器

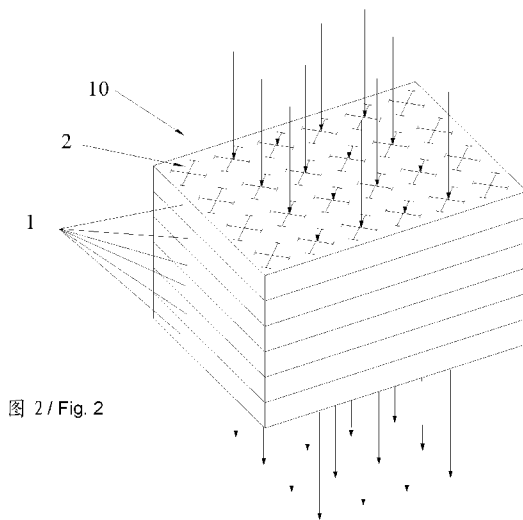


图 2 / Fig. 2

(57) Abstract: The present invention relates to a metamaterial polarization converter. The metamaterial polarization converter comprises a base material and multiple artificial microstructures disposed on the base material. The artificial microstructures can affect the electric field vector of a planar electromagnetic wave propagated in the base material. The electromagnetic wave electric field vector on one or multiple planes perpendicular to the direction of incidence of the electromagnetic wave is broken down into two non-zero quadrature components. The two quadrature components are respectively parallel and perpendicular to the optical axis of the position of the artificial microstructures. Once the electromagnetic wave travels through the metamaterial polarization converter, the two quadrature components have a phase difference of  $\Delta\theta$ , which is different from that before incidence, thereby achieving the mutual conversion in the aforementioned electromagnetic wave polarization method. The metamaterial polarization converter according to the present invention has a simple structure and can easily convert the polarization of an electromagnetic wave.

(57) 摘要:

[见续页]



WO 2012/122823 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))。

本发明涉及一种超材料极化转换器, 所述超材料极化转换器包括基材以及设置在基材上的多个人造微结构, 人造微结构能够影响在其中传播的平面电磁波的电场矢量, 电磁波的电场矢量在与电磁波的入射方向垂直的一个或多个平面上分解成两个不为零的正交分量, 两个正交分量分别与人造微结构所处位置的光轴平行和垂直, 在电磁波穿过超材料极化转换器后, 两个正交分量具有了一与入射前不同的相位差 $\Delta\theta$ , 从而实现上述电磁波极化方式的相互转换。根据本发明的超材料极化转换器, 结构简单, 并且可以轻易地实现电磁波的极化转换。

## 一种超材料极化转换器

### 【技术领域】

本发明涉及超材料技术领域，具体地涉及一种超材料极化转换器。

### 【背景技术】

电磁波的极化状态在液晶显示、射频天线及各种辐射器件、卫星天线与光学器件等方面有广泛的应用。传统的极化转换器件通常限制一种极化波透射，将不需要的极化波反射；或者将波分为两束具有不同极化状态的波束，因此一种极化波只能携带不到一半的能量，具有较大的能量损耗，并且工艺要求和成本高。此外，利用截面渐变的波导可以实现圆极化波与线极化波之间的转换。此种方法能量损耗较小，但要得到极化隔离度好的出射波对加工精度要求相当高，实现难度较大。

在各种天线及微波与光学的仪器设备中，经常需要实现不同极化状态之间的转换，以获得某种单极化波或双极化波。极化转换主要关注以下几个方面的指标：

- 1)高性能。转换后的极化波应具有较高的极化隔离度，接近所需要的极化状态。
- 2)低损耗。具有较高的能量转换效率，以实现节能降耗的目标。
- 3)尺寸小。不占用过多空间。

此外，极化转换方法应易于实现，设计不应太复杂，器件成本不应过高。

超材料由介质基材和设置上基材上的多个人造微结构（通常采用金属微结构）组成，可以提供各种普通材料具有和不具有的材料特性。单个人造微结构大小一般在  $1/10$  至  $1/5$  个波长之间，其对外加电场和 / 或磁场具有电响应和 / 或磁响应，从而具有表现出等效介电常数和 / 或等效磁导率。人造微结构的等效介电常数和等效磁导率由单元几何尺寸参数决定，可人为设计和控制。并且，人造微结构可以具有人为设计的各向异性的电磁参数，从而产生许多新奇的现

象，为实现极化转换提供了可能。

### 【发明内容】

本发明主要解决的技术问题是提供一种超材料极化转换器，可以轻易地实现电磁波的极化转换。

为解决上述技术问题，本发明采用的一个技术方案是：提供一种超材料极化转换器，超材料极化转换器包括基材以及设置在基材上的多个人造微结构，人造微结构能够影响在其中传播的平面电磁波的电场矢量，电磁波的电场矢量在与电磁波的入射方向垂直的一个或多个平面上分解成两个不为零的正交分量，两个正交分量分别与人造微结构所处位置的光轴平行和垂直，在电磁波穿过超材料极化转换器后，两个正交分量具有了一与入射前不同的相位差 $\Delta\theta$ ，从而实现上述电磁波极化方式的相互转换。

根据本发明一优选实施例，多个人造微结构的电磁特性呈各向异性，超材料极化转换器内部的折射率呈均匀分布，多个人造微结构均匀分布在与电磁波的入射方向垂直的一个或多个平面上。

根据本发明一优选实施例，相位差 $\Delta\theta = (k_1 - k_2) \times d$ ，其中，

$$k_1 = \omega \times \sqrt{\varepsilon_1} \times \sqrt{\mu_1};$$

$$k_2 = \omega \times \sqrt{\varepsilon_2} \times \sqrt{\mu_2};$$

$\omega$ 为电磁波的频率；

$\varepsilon_1$ 、 $\mu_1$ 分别为所述超材料单元在所述两个正交分量中其中一个分量方向上的介电常数和磁导率， $\varepsilon_2$ 、 $\mu_2$ 分别为所述超材料单元在所述两个正交分量中另一个分量方向上的介电常数和磁导率。

$d$ 为超材料的厚度。

根据本发明一优选实施例，基材由多个相互平行的片状基板堆叠形成，每个片状基板上均附着有多个人造微结构，片状基板垂直于电磁波的入射方向，所有的人造微结构在片状基板上周期排布。

根据本发明一优选实施例，片状基板由陶瓷材料、高分子材料、铁电材料、铁氧材料或铁磁材料制得。

根据本发明一优选实施例，相位差 $\Delta\theta=K\pi$ ，其中 K 为整数。

根据本发明一优选实施例，人造微结构的光轴方向与入射电磁波的电场矢量的方向呈 45 度夹角。

根据本发明一优选实施例，人造微结构的光轴方向与入射电磁波的电场矢量的方向的夹角不等于 45 度。

根据本发明一优选实施例，相位差 $\Delta\theta=(2K+1)(\pi/2)$ ，其中 K 为整数。

根据本发明一优选实施例，人造微结构的光轴方向与入射电磁波的电场矢量的方向呈 45 度夹角。

根据本发明一优选实施例，相位差 $\Delta\theta$  不等于  $K\pi$  并且不等于  $(2K+1)(\pi/2)$ ，其中 K 为整数。

根据本发明一优选实施例，人造微结构的光轴方向与入射电磁波的电场矢量的方向的夹角不等于 45 度。

根据本发明一优选实施例，人造微结构为金属微结构，每个金属微结构为一具有图案的附着在片状基板上的金属线，金属线的图案为一非 90 度旋转的对称图形。

根据本发明一优选实施例，金属线通过蚀刻、电镀、钻刻、光刻、电子刻或离子刻的方法附着在片状基板上。

根据本发明一优选实施例，金属线为铜线或银线。

根据本发明一优选实施例，金属线呈二维雪花状，其具有相互垂直呈“十”字的第一主线及第二主线，第一主线的两端垂直设置有两个第一支线，第二主线的两端垂直设置有两个第二支线。

根据本发明一优选实施例，第一主线及第二主线相互平分，两个第一支线的中心连接在第一主线上，两个第二支线的中心连接在第二主线上。

根据本发明一优选实施例，入射电磁波的电场矢量的两个正交分量分解在

第一主线与第二主线所在的直线上。

根据本发明一优选实施例，入射电磁波的电场矢量方向与第一主线呈45度夹角。

本发明的有益效果是：区别于现有技术的情况，根据本发明的超材料极化转换器，利用超材料的人造微结构的影响在其中传播的电磁波的电场矢量，使得电磁波离开超材料极化转换器时，极化特性发生改变。本发明的超材料极化转换器结构简单、制造成本低、转换效率高，并且功能多样，便于控制和设计。

### 【附图说明】

图1是本发明超材料极化转换器一个实施例的结构示意图；

图2是图1的另一视角图；

图3是本发明超材料极化转换器一个实施例中金属微结构的示意图；

图4为图3所示图案衍生得到的一个金属微结构的图案；

图5为图3所示图案变形得到的一个金属微结构的图案；

图6为图3所示图案变形得到的另一个金属微结构的图案；

图7为电磁波极化转换示意图。

### 【具体实施方式】

“超材料”是指一些具有天然材料所不具备的超常物理性质的人工复合结构或复合材料。通过在材料的关键物理尺度上的结构有序设计，可以突破某些表现自然规律的限制，从而获得超出自然界固有的普通性质的超常材料功能。

“超材料”重要的三个重要特征：

- (1) “超材料”通常是具有新奇人工结构的复合材料；
- (2) “超材料”具有超常的物理性质（往往是自然界的材料中所不具备的）；
- (3) “超材料”性质由构成材料的本征性质及其中的人造微结构共同决定。

做为公知常识，可知：

电磁波具有极化特性，它的极化方式是指线极化、圆极化及椭圆极化。由天线辐射原理可知，自由空间电磁波通常以电场  $\vec{E}$  的取向作为电波极化方向。 $\vec{E}$  是随时间而变化的，如果  $\vec{E}$  的矢量端点随时间变化的轨迹是一直线，则称此电磁波为线极化波。若  $\vec{E}$  的大小不变而方向随时间而变，在观察点处与传播方向垂直的平面内，矢量端点的变化轨迹是一个圆，称为圆极化波。 $\vec{E}$  的大小和方向都随时间变化，矢量端点的轨迹为椭圆的波则叫椭圆极化波。圆极化与椭圆极化可以合称为非线极化，其中线极化还具有两个特例：水平极化和垂直极化。

在三维空间，沿 Z 轴方向传播的电磁波，其瞬时电场可写为： $\vec{E} = \vec{E}_x + \vec{E}_y$ ，若  $\vec{E}_x = E_{xm} \cos(\omega t + \theta_x)$ ， $\vec{E}_y = E_{ym} \cos(\omega t + \theta_y)$ ，其中， $E_{xm}$  及  $E_{ym}$  分别为电场在 X 轴及 Y 轴方向上的幅值， $\omega$  为电磁波波动的角频率， $\theta_x$  及  $\theta_y$  分别为 X 轴方向及 Y 轴方向的两个分量的相位。

若  $\vec{E}_x$  与  $\vec{E}_y$  的相位差为  $n\pi$  ( $n=1,2,3,\dots$ )，则合成矢量的模为： $|\vec{E}| = (\vec{E}_x^2 + \vec{E}_y^2)^{1/2} = (E_{xm}^2 + E_{ym}^2)^{1/2} \cos \omega t$ ，这是一个随时间变化而变化的量，合成矢量的相位  $\theta$  为： $\theta = \text{tg}^{-1}(E_y/E_x) = \text{tg}^{-1}(E_{ym}/E_{xm})$ ，合成矢量的相位为常数。可见合成矢量的端点的轨迹为一条直线。

$\vec{E}$  与传播方向构成的平面称为极化面，当极化面与地面平行时，为水平极化；当极化面与地面垂直时，为垂直极化。

若  $\vec{E}_x$  与  $\vec{E}_y$  的幅度相等，相位差为  $(2n+1)\pi/2$  时，则  $|\vec{E}| = (\vec{E}_x^2 + \vec{E}_y^2)^{1/2} = (E_{xm}^2 + E_{ym}^2)^{1/2}$  是常数，而相位随时间  $t$  而变化： $\theta = \text{tg}^{-1}(E_y/E_x) = \omega t$ ，故合成矢量端点的轨迹为一个圆，称为圆极化。

根据电场旋转方向不同，圆极化可分为右旋和左旋两种。观察者沿波的传播方向看去，电场矢量在截面内顺时针方向旋转（满足右手定测）称右旋圆极化，逆时针方向旋转（满足左手定测）称左旋圆极化。因此，若  $\vec{E}_x$  超前  $\vec{E}_y$   $\pi/2$ ，则为右旋圆极化，若  $\vec{E}_x$  落后  $\vec{E}_y$   $\pi/2$ ，则为左旋圆极化。

若  $\vec{E}_x$  与  $\vec{E}_y$  的幅度和相位差均不满足上述条件时，即合成矢量  $\vec{E}$  的大小和方向都随时间变化（都不是常数），则合成矢量端点的轨迹为一个椭圆，称为椭圆

极化。根据电场旋转方向不同，椭圆极化和圆极化可分为右旋和左旋两种。观察者沿波的传播方向看去，电场矢量在截面内顺时针方向旋转称右旋椭圆极化，逆时针方向旋转称左旋椭圆极化。

本发明利用超材料来构建一种极化转换器。具体如下：

如图 1 所示，图 1 为超材料极化转换器一个实施例中片状基板 11 及多个人造微结构 2 的结构示意图，基材 1 实际上是由多个片状基板 11 沿与纸面垂直的方向堆叠，电磁波也是沿垂直纸面的方向垂直射入的。

如图 2 所示，图 2 为图 1 的另一视角图。作为本发明的一个实施例，基材 1 由多个相互平行的片状基板 11 堆叠形成，每个片状基板 11 上均附着有多个人造微结构 2，片状基板 11 垂直于电磁波的入射方向，所有的人造微结构在片状基板 11 上呈周期排布。可以清楚的看到基材 1 是由多个片状基板 11 堆叠形成有一定厚度的方形物体。图中上方的多个箭头表示的是入射的电磁波，下方的箭头表示出射的电磁波，电磁波沿人造微结构所在平面垂直射入。实际做产品的时候，还可以对其进行封装，使得从外部看不到人造微结构，封装的材料与基材相同。当然，为了避免人造微结构直接与片状基板接触产生的损害，还可以在相邻的两片片状基板之间填充空气或介电常数和磁导率与空气接近的其它介质。

继续参阅图 1-2，同一平面内金属微结构呈 4\*6 的矩阵排列，并且在电磁波的入射方向上排布有 6 层（6 块片状基板），这只是个示意性表示，根据不同需要可以有不同的平面排列，并且在电磁波入射方向上金属微结构的排布也可以有其它层数。例如，在每一平面中的金属微结构的排布确定的情况下，可以通过平面的个数（片状基板的个数）来控制超材料极化转换器在电磁波垂直入射方向上的厚度，从而获得所需要的相位差，实现不同的极化转换。

继续参阅图 1-2，根据本发明的超材料极化转换器 10，其包括基材 1 以及设置在基材 1 上的电磁特性呈各向异性的多个人造微结构 2，多个人造微结构 2 均匀分布在垂直于电磁波的入射方向的一个或多个平面上。超材料极化转换器 10

内部的折射率呈均匀分布，此处的折射率均匀分布是指每个人造微结构的所在位置的折射率分布相同，又由于电磁波是垂直入射的，因此出射时电磁波的传播方向不会发生改变。入射电磁波的电场矢量在上述一个或多个平面上分解成两个不为零的正交分量，两个分量分别与人造微结构所处位置的光轴平行和垂直，此处的光轴是指人造微结构的折射率椭球的长轴，此处的折射率椭球指的是每一人造微结构的折射率的空间分布；光轴与电磁波的电场矢量方向的夹角不为 0，则电场矢量在垂直于电磁波的入射方向的平面内分解成两个正交分量都不为零。在电磁波穿过超材料极化转换器 10 后，的两个正交分量具有了一与入射前不同的相位差  $\Delta\theta$ ， $\Delta\theta = (k_1 - k_2) \times d$ ，从而实现上述电磁波极化方式的相互转换，其中，

$$k_1 = \omega \times \sqrt{\epsilon_1} \times \sqrt{\mu_1};$$

$$k_2 = \omega \times \sqrt{\epsilon_2} \times \sqrt{\mu_2};$$

$\omega$  为电磁波的频率；

$\epsilon_1$ 、 $\mu_1$  分别为所述超材料单元在所述两个正交分量中其中一个分量方向上的介电常数和磁导率， $\epsilon_2$ 、 $\mu_2$  分别为所述超材料单元在所述两个正交分量中另一个分量方向上的介电常数和磁导率。

为  $d$  为超材料的厚度。

则出射后两个正交分量合成后得到的电场矢量（出射电磁波的电场矢量）与入射前的电磁波的电场矢量必然不相同，从而实现了入射电磁波与出射电磁波的极化转换。上述的人造微结构通常是指金属微结构比如金属线，当然也可以是其它已知的其它人造微结构。只要能满足对入射电磁波的电场矢量的两个正交分量都有电响应即可。

如图 3 所示，作为一个具体的实施例，金属线呈二维雪花状，其具有相互垂直呈“十”字的第一主线 21 及第二主线 22，第一主线 21 的两端垂直设置有两个第一支线 23，第二主线的两端垂直设置有两个第二支线 24。第一主线 21 及第二主线 22 相互平分，两个第一支线 23 的中心连接在第一主线 21 上，两个第

二支线 24 的中心连接在第二主线 22 上。图中只是示意，实际上第一主线、第二主线、第一支线及第二支线都是有宽度的。在这个实施例中，各向同性的情况为，在具备前特征外，金属线同时还应当满足以下两个条件：

- 1) 第一主线与第二主线长度与宽度相同；
- 2) 第一分支与第二分支长度与宽度也相同；

因此，只要不同时满足上面的条件，则由上述图案的金属微结构构成的单元结构表现为各向异性。

在本实施例中，入射电磁波的电场矢量的两个正交分量分解在第一主线 21 与第二主线 22 所在的直线上，即第一主线 21 与第二主线 22 中的一条的方向为光轴的方向。这样一来，电磁波的电场矢量的两个正交分量一个是在第一主线 21 的直线方向，另外一个则在第二主线 22 的直线方向，使得金属微结构 2 对电磁波的两个正交分量都有影响（电场响应），这种影响经过一定时间叠加后，则会使电磁波的电场矢量的两个正交分量产生相位差的变化，从而使得两个正交分量的合成矢量（出射电磁波的电场矢量）发生改变，实现了电磁波的极化转换。在由任意极化状态的电磁波转换为线极化波时，出射的电磁波的电场矢量的两个分量的幅度可以相等也可以不等，若相等则可实现水平极化与垂直极化的相互转换，此时，第一主线 21 与入射的电磁波的电场矢量呈 45 度夹角。并且在由任意极化状态的电磁波转换为圆极化波时，出射的电磁波的电场矢量的两个分量的幅度也要相等，此时，第一主线 21 与入射的电磁波的电场矢量也要呈 45 度夹角。如图 4-6 所示，金属线还可以有其它的图案（或拓扑结构）。其中图 4 为图 3 图案的衍生，即在两个第一支线和两个第二支线的两端均再加两个支线，依此类推，还可以有很多其它的衍生图案；其中图 5 至图 6 为图 3 图案的变形；另外还有很多变形图案，本发明并不能对此一一列举。作为一个实施例，人造微结构为金属微结构，的每个金属微结构为一具有图案的附着在片状基板 11 上的金属线。金属线的图案为一非 90 度旋转对称图形，非 90 度旋转对称图形是 90 度旋转对称的相对概念，所谓 90 度旋转对称是指，一图形沿其对

称中心向任意方向旋转 90 度后都与原图形重合, 具有此图形的金属微结构构成的单元格表现出各向同性 (即单元格空间内的电磁参数每点都相同)。反之, 具有非 90 度旋转对称的图形的金属微结构构成的单元格则表现为各向异性 (即单元格空间内并不是每点的电磁参数张量均相同)。金属微结构构成的单元格若表现为各向异性, 则会影响通过其中的电磁波的电场矢量, 使得电磁波通过每一个单元格时, 两个正交分量都会受到影响, 只是由于人造微结构具有各向异性的电磁特性, 两个正交分量受到的影响不一样, 即两个正交分量的振动会有快有慢, 因此两个正交分量产生了相位差的变化, 而在电磁波离开超材料转换器时, 其经过了多个单元格, 相位差得到累加, 若最终相位差  $\Delta\theta$  不等于入射前的相位差, 则两个正交分量的合成后的电场矢量 (出射电磁波的电场矢量) 将相对于入射前发生了极化特性的改变, 实现极化转换。

实际上, 可以将整个超材料极化转换器 (事实上就是一种超材料) 分为多个相同的单元格, 每个单元格都包括一个人造微结构及该人造微结构所附着的基板, 整个超材料极化转换器可以看成是由这多个单元格组成, 每一个单元格都会对通过其的电磁波产生电场和/或磁场响应, 即电磁波通过每一个单元格时, 两个正交分量都会受到影响, 即两个正交分量的相位发生变化, 只是由于人造微结构具有各向异性的电磁特性, 两个正交分量受到的影响不一样, 即两个正交分量的振动会有快有慢, 两个正交分量的相位变化的大小不相同, 因此两个正交分量的相位差不断变化, 而在电磁波离开超材料转换器时, 其经过了多个单元格, 相位差的变化得到累加, 因此, 若出射后的相位差  $\Delta\theta$  与入射前的相位差不同, 则两个正交分量的合成后的电场矢量 (出射电磁波的电场矢量) 将相对于入射前发生了极化特性的改变。人造微结构电磁参数的各向异性是指人造微结构所在的单元格的电磁参数并不是每一点都相同。

如图 7 所示, 其表示电磁波极化转换的示意图 (在 x 轴与 y 轴构成的平面内), 若定义电磁波的传播方向为三维直角坐标系中的 z 轴, 则由电磁波的基本原理可知, 电场矢量 E 在 x 与 y 轴所构成的平面内, 假定入射的电磁波的电场

矢量为  $E_r$ ，其两个正交分量为  $E_{1r}$  与  $E_{2r}$ ；刚好离开超材料极化转换器时电磁波的电场矢量为  $E_c$ ，其两个正交分量为  $E_{1c}$  与  $E_{2c}$ ；其中  $E_{1r}$  表示沿光轴方向的分量， $E_{2r}$  则表示另一个分量， $E_{1c}$  与  $E_{2c}$  分别为  $E_{1r}$  与  $E_{2r}$  出射时的两个分量；此处， $E_c$  假定为电磁波刚好离开超材料极化转换器的电场矢量只是为了方便描述，因为电磁波离开超材料后，其不再受到人造微结构的影响，其极化特性已经稳定。假设电磁波在未入射之前  $E_r$  与  $E_{1r}$  的夹角为  $a$ ，且刚好穿过极化转换器后，电磁波的电场矢量  $E_c$  的分量  $E_{1c}$  与  $E_{1r}$  完全重合， $E_c$  与  $E_{1c}$  的夹角为  $b$ ，以下分两种情况来描述本发明中电磁波的极化转换：

(1) 任意夹角的两个线极化电磁波的相互转换，此时  $\Delta\theta = K\pi$  ( $K$  为整数)，此时两个正交分量  $E_{1c}$  与  $E_{2c}$  合成后得到的电场矢量  $E_c$  的相位为一常数，则实现了任意极化状态的电磁波到线极化电磁波的转换；如图 7 所示，假设其表示的任意夹角的两个线极化电磁波的转换，则由于  $E_{1c}$  与  $E_{2c}$  相位差为  $K\pi$ ， $E_{2c}$  在如图 7 所示的位置上，根据几何原理，合成后的  $E_c$  与  $E_r$  的模相等，只是  $E_c$  相对于  $E_r$  在  $x$  与  $y$  轴所构成的平面内旋转了  $(a+b)$  的角度，由几何原理同样可得， $a=b$ ，即  $E_c$  相对于  $E_r$  在  $x$  与  $y$  轴所构成的平面内旋转了  $2a$  的角度，若人造微结构的光轴方向与电场矢量的方向呈  $45$  度夹角（即  $a=45$  度），即  $E_r$  与  $E_{1r}$  的夹角为  $45$  度，则经过此种超材料极化转换器后， $E_c$  相对于  $E_r$  在  $x$  与  $y$  轴所构成的平面内旋转了  $90$  的角度，则此种结构的超材料极化转换器可以实现水平极化与垂直极化的相互转换（即入射电磁波的电场矢量方向在  $y$  轴或  $x$  轴的方向上）。若人造微结构的光轴方向与电场矢量的方向不是呈  $45$  度夹角（即  $a$  不等于  $45$  度），则经过此种超材料极化转换器后， $E_c$  相对于  $E_r$  在  $x$  与  $y$  轴所构成的平面内旋转了的角度  $2a$  不等于  $90$  度，此时可以实现水平极化与另一种水平极化的转换，或者是垂直极化与另一种垂直极化的转换。

(2) 线极化状态的电磁波到非线极化的转换，此时  $\Delta\theta$  不等于  $K\pi$ ，其中  $K$  为整数。分两种情况：

第一种情况，若要实现线极化和圆极化电磁波之间的相互转换，则  $\Delta\theta =$

$(2K+1)(\pi/2)$ ，且人造微结构的光轴方向与入射电磁波的电场矢量的方向呈 45 度夹角。即入射的电磁波的电场矢量  $E_r$  与  $E_{1r}$  的夹角为 45 度，假设图 7 为线极化和圆极化电磁波之间的相互转换，则有，若  $a$  等于 45 度，则根据几何原理，此时  $E_{1r}$  与  $E_{2r}$  幅度相等，因此出射电磁波的电场矢量  $E_c$  的两个正交分量  $E_{1c}$  与  $E_{2c}$  幅度也相等；两个正交分量  $E_{1c}$  与  $E_{2c}$  幅度相等，且其相位差  $\Delta\theta=(2K+1)(\pi/2)$ ，因此出射的电磁波的矢量端点从传播方向看上去会在一个圆上，出射的电磁波为圆极化波，从而实现了实现线极化和圆极化电磁波之间的相互转换。至于圆极化的左旋或者右旋和  $E_{1c}$  与  $E_{2c}$  谁超前有关，即若  $E_{1c}$  超前  $E_{2c}(\pi/2)$ ，则为右旋圆极化，若  $E_{1c}$  落后  $E_{2c}(\pi/2)$ ，则为左旋圆极化。

第二种情况，若要实现线极化和椭圆极化电磁波的相互转换，则  $\Delta\theta$  不等于  $K\pi$  并且不等于  $(2K+1)(\pi/2)$ ，且人造微结构的光轴方向与入射电磁波的电场矢量的方向的夹角不等于 45 度。即入射的电磁波的电场矢量  $E_r$  与  $E_{1r}$  的夹角不为 45 度，假设图 7 为线极化和椭圆极化电磁波的相互转换的示意图，则有，若  $a$  不等于 45 度，则根据几何原理，此时  $E_{1r}$  与  $E_{2r}$  幅度不相等，因此出射电磁波的电场矢量  $E_c$  的两个正交分量  $E_{1c}$  与  $E_{2c}$  幅度也不相等；两个正交分量  $E_{1c}$  与  $E_{2c}$  幅度不相等，且其相位差  $\Delta\theta$  不等于  $(2K+1)(\pi/2)$  也不等于  $K\pi$ ，因此出射的电磁波的矢量端点从传播方向看上去会在一个椭圆上，出射的电磁波为椭圆极化波，从而实现了线极化和椭圆极化电磁波的相互转换。至于圆极化的左旋或者右旋和  $E_{1c}$  与  $E_{2c}$  谁超前有关，即若  $E_{1c}$  超前  $E_{2c}$ ，则为右旋椭圆极化，若  $E_{1c}$  落后  $E_{2c}$ ，则为左旋椭圆极化。

应当指出，上述的每一相位差对应一类（不是一个）超材料极化转换器，特定的超材料极化转换器功能是单一的，只能实现特定的极化转换，这是因为根据入射电磁波的极化特性不同，虽然出射电磁波的电场矢量的两个正交分量具有相同的相位差，但是不同入射的电磁波，超材料极化转换器对其影响是不相同的，因此可以认为它们是通过不同的极化转换器。

人造微结构通常采用金属微结构，在入射电磁波的极化特性确定的情况下，

根据需要的出射电磁波的极化特性来设计超材料极化转换器。例如，可以先选定基材与金属微结构的材料，再通过改变金属微结构的图案、设计尺寸和/或金属微结构在空间中的排布可以获得想要的相位差 $\Delta\theta$ 。这是因为，通过改变金属微结构的图案、设计尺寸和/或金属微结构在空间中的排布，即可改变超材料极化转换器空间中每一单元格的电磁参数 $\epsilon$ 和 $\mu$ ，从而改变相应单元格的折射率 $n$ ，超材料极化转换器可以看成是由多个这样的单元格组成的，因此通过合理计算可以得到想要的 $\Delta\theta$ ，从而实现想要的极化转换。至于怎么得到金属微结构的图案、设计尺寸和/或金属微结构在空间中的排布，这个方法是多种的，举个例子，可以通过逆向的计算机仿真模拟得到，先确定 $\Delta\theta$ 的数值，根据此数值去设计超材料极化转换器整体的电磁参数分布，再从整体出发计算出空间中每一单元格的电磁参数分布，根据这每一单元格的电磁参数来选择相应的人造微结构的图案、设计尺寸和/或金属微结构在空间中的排布（计算机中事先存放有多种金属微结构数据）。对每个单元格的设计可以用穷举法，例如先选定一个具有特定图案的金属微结构，计算电磁参数，将得到的结果和想要的对比，对比再循环多次，一直到找到想要的电磁参数为止，若找到了，则完成了金属微结构的设计参数选择；若没找到，则换一种图案的金属微结构，重复上面的循环，直到找到想要的电磁参数为止。如果还是未找到，则上述过程也不会停止。也就是说只有找到了需要的电磁参数的金属微结构后，程序才会停止。由于这个过程都是由计算机完成的，因此，看似复杂，其实很快就能完成。

作为一个实施例，金属线通过蚀刻、电镀、钻刻、光刻、电子刻或粒子刻的方法附着在片状基板11上。

本发明的片状基板11可以由陶瓷材料、高分子材料、铁电材料、铁氧材料或铁磁材料制得，还可以由环氧树脂或聚四氟乙烯制得。作为一个实施例，选用聚四氟乙烯来制成片状基板。聚四氟乙烯的电绝缘性非常好，因此不会对电磁波的电场产生干扰，并且具有优良的化学稳定性、耐腐蚀性，使用寿命长，作为金属微结构附着的基材是很好的选择。

作为一个实施例，金属线为铜线或银线，铜与银的导电性能好，对电场的响应更加灵敏。

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。

## 权利要求

1、一种超材料极化转换器，其特征在于，所述超材料极化转换器包括基材以及设置在基材上的多个人造微结构，所述人造微结构能够影响在其中传播的平面电磁波的电场矢量，所述电磁波的电场矢量在与电磁波的入射方向垂直的一个或多个平面上分解成两个不为零的正交分量，两个正交分量分别与人造微结构所处位置的光轴平行和垂直，在电磁波穿过超材料极化转换器后，所述两个正交分量具有了一与入射前不同的相位差 $\Delta\theta$ ，从而实现上述电磁波极化方式的相互转换。

2、根据权利要求1所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述多个人造微结构的电磁特性呈各向异性，所述超材料极化转换器内部的折射率呈均匀分布，所述多个人造微结构均匀分布在与电磁波的入射方向垂直的一个或多个平面上。

3、根据权利要求1所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述相位差 $\Delta\theta=(k_1-k_2) \times d$ ，其中，

$$k_1=\omega \times \sqrt{\varepsilon_1} \times \sqrt{\mu_1};$$

$$k_2=\omega \times \sqrt{\varepsilon_2} \times \sqrt{\mu_2};$$

$\omega$ 为所述电磁波的频率；

$\varepsilon_1$ 、 $\mu_1$ 分别为所述超材料单元在所述两个正交分量中其中一个分量方向上的介电常数和磁导率， $\varepsilon_2$ 、 $\mu_2$ 分别为所述超材料单元在所述两个正交分量中另一个分量方向上的介电常数和磁导率。

$d$ 为所述超材料的厚度。

4、根据权利要求1所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述基材由多个相互平行的片状基板堆叠形成，每个片状基板上均附着有多个人造微结构，所述片状基板垂直于电磁波的入射方向，所有的人造微结构在所述片状基板上周期排布。

5、根据权利要求4所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述片状基板由陶瓷材料、高分子材料、铁电材料、铁氧材料或铁磁材料制得。

6、根据权利要求 1 所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述相位差  $\Delta\theta=K\pi$ ，其中 K 为整数。

7、根据权利要求 6 所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述人造微结构的光轴方向与入射电磁波的电场矢量的方向呈 45 度夹角。

8、根据权利要求 6 所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述人造微结构的光轴方向与入射电磁波的电场矢量的方向的夹角不等于 45 度。

9、根据权利要求 1 所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述相位差  $\Delta\theta=(2K+1)(\pi/2)$ ，其中 K 为整数。

10、根据权利要求 9 所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述人造微结构的光轴方向与入射电磁波的电场矢量的方向呈 45 度夹角。

11、根据权利要求 1 所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述相位差  $\Delta\theta$  不等于  $K\pi$  并且不等于  $(2K+1)(\pi/2)$ ，其中 K 为整数。

12、根据权利要求 11 所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述人造微结构的光轴方向与入射电磁波的电场矢量的方向的夹角不等于 45 度。

13、根据权利要求 1 所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述人造微结构为金属微结构，每个金属微结构为一具有图案的附着在片状基板上的金属线，所述金属线的图案为一非 90 度旋转的对称图形。

14、根据权利要求 13 所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述金属线通过蚀刻、电镀、钻刻、光刻、电子刻或离子刻的方法附着在片状基板上。

15、根据权利要求 13 所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述金属线为铜线或银线。

16、根据权利要求 13 所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述金属线呈二维雪花状，其具有相互垂直呈“十”字的第一主线及第二主线，所述第一主线的两端垂直设置有两个第一支线，所述第二主线的两端垂直设置有两个第二支线。

17、根据权利要求 16 所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述第一主

线及第二主线相互平分，所述两个第一支线的中心连接在第一主线上，所述两个第二支线的中心连接在第二主线上。

18、根据权利要求 17 所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述入射电磁波的电场矢量的两个正交分量分解在第一主线与第二主线所在的直线上。

19、根据权利要求 18 所述的超材料极化转换器，其特征在于，所述入射电磁波的电场矢量方向与第一主线呈 45 度夹角。

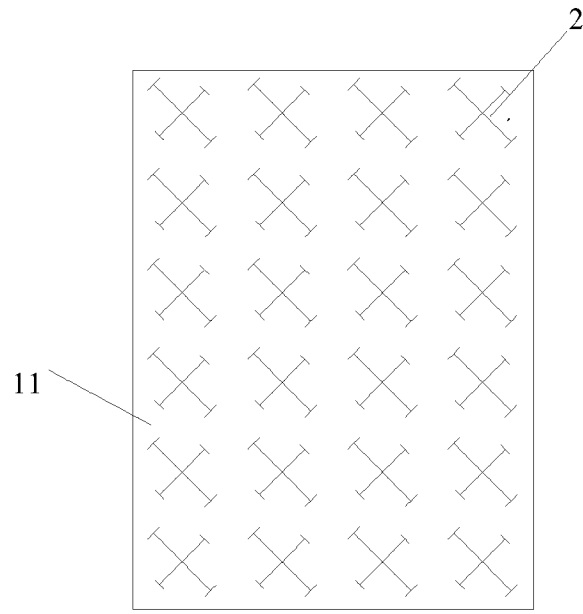


图 1

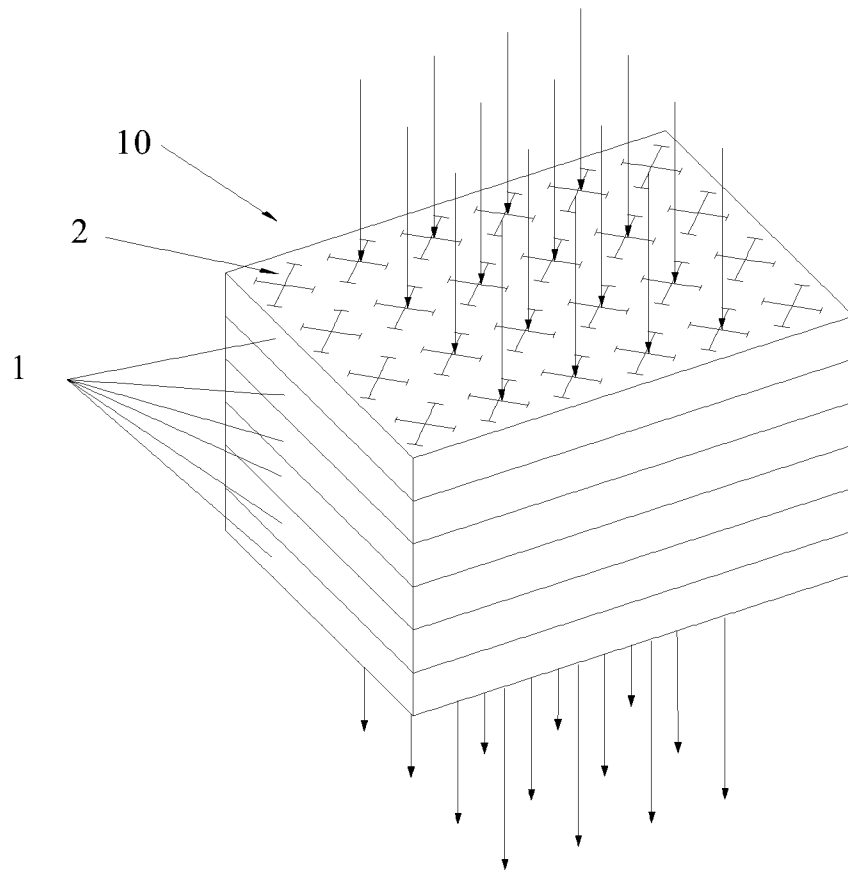


图 2

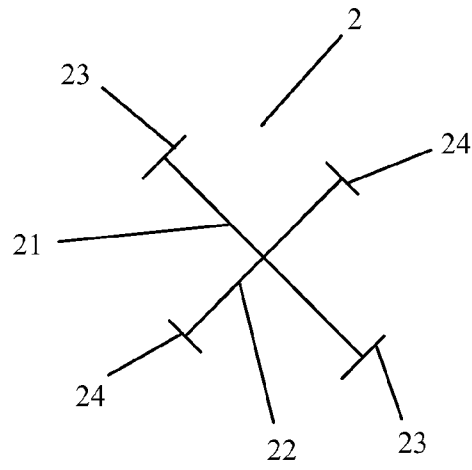


图 3

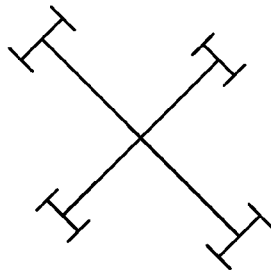


图 4

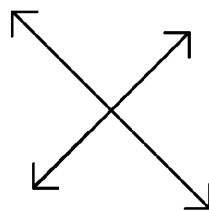


图 5

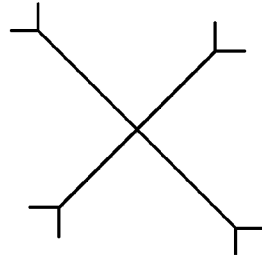


图 6

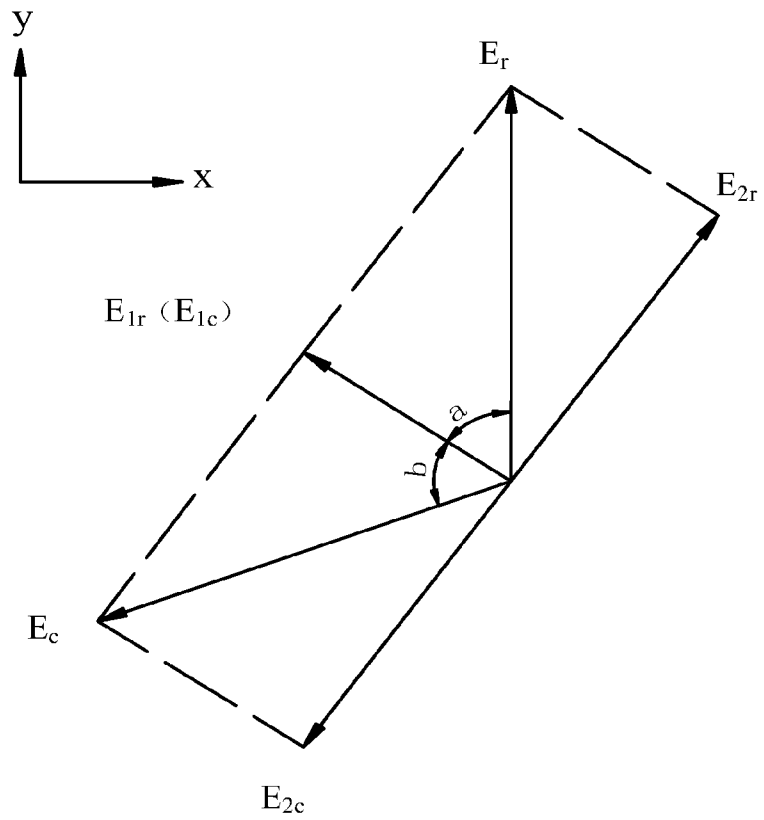


图 7

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/CN2011/082810

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01P1/165(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: H01P; G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

VEN; CNABS; CNTXT; CNKI: polarization, conversion, anisotropic, multilayer, electric field, phase, phasic, metamaterial, man made, artificial, ersatz, synthetic.

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN101431171A(UNIV DONGNAN) 13 May 2009(13.05.2009) description, page 4, line 25-page 9, line 5; and figures 1-5	1-19
A	US2008239487A1(KOBAYASHI et al.) 02 Oct. 2008(02.10.2008) the whole document	1-19
A	ZHAO, Ling et al., Electromagnetic wave reflection of anisotropic layered media with a metallic substrate, Chinese Journal of Radio Science, Oct. 2009 vol. 24, no.5, page 804-807	1-19

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>“&amp;” document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search  
02 Feb. 2012(02.02.2012)

Date of mailing of the international search report  
15 Mar. 2012(15.03.2012)

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  
WANG, Ke  
Telephone No. (86-10)62411511

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**  
Information on patent family members

International application No.  
PCT/CN2011/082810

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN101431171A	13.05.2009	None	
US2008239487A1	02.10.2008	JP2008268901A	06.11.2008
		JP2010146020A	01.07.2010
		JP4557022B2	06.10.2010
		US7855834B2	21.12.2010

<b>A. 主题的分类</b>		
H01P1/165(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>B. 检索领域</b>		
检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)		
IPC:H01P; G02B		
包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献		
在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称, 和使用的检索词(如使用))		
VEN: polarization, conversion, anisotropic, multilayer, electric field, phase, phasic, metamaterial, man made, artifical, artificial, ersatz, synthetic; CNABS; CNTXT; CNKI:极化, 转换, 相位, 超介质, 超材料, 材料, 人工, 人造, 光轴, 各向异性		
<b>C. 相关文件</b>		
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求
X	CN101431171A (东南大学) 13.5 月 2009 (13.05.2009) 说明书第 4 页第 25 行至第 9 页第 5 行及附图 1-5	1-19
A	US2008239487A1(KOBAYASHI 等)02.10 月 2008 (02.10.2008) 全文	1-19
A	赵林, 左钰, 冯一军 金属衬底多层各向异性介质电波反射特性研究 《电波科学学报》 10 月 2009 第 24 卷第 5 期第 804-807 页	1-19
<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 02.2 月 2012 (02.02.2012)		国际检索报告邮寄日期 <b>15.3 月 2012 (15.03.2012)</b>
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		受权官员  王可  电话号码: (86-10) <b>62411511</b>

国际检索报告  
关于同族专利的信息

国际申请号  
**PCT/CN2011/082810**

检索报告中引用的 专利文件	公布日期	同族专利	公布日期
CN101431171A	13.05.2009	无	
US2008239487A1	02.10.2008	JP2008268901A	06.11.2008
		JP2010146020A	01.07.2010
		JP4557022B2	06.10.2010
		US7855834B2	21.12.2010