

(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
2017年11月23日 (23.11.2017)



(10) 国际公布号
WO 2017/197999 A1

- (51) 国际专利分类号:
H01Q 15/00 (2006.01) *H01Q 15/14* (2006.01)
- (21) 国际申请号: PCT/CN2017/079576
- (22) 国际申请日: 2017年4月6日 (06.04.2017)
- (25) 申请语言: 中文
- (26) 公布语言: 中文
- (30) 优先权:
201610339819.X 2016年5月19日 (19.05.2016) CN
- (71) 申请人: 深圳超级数据链技术有限公司(SHENZHEN SUPERDATA LINK TECHNOLOGY LTD.) [CN/CN]; 中国广东省深圳市龙岗区坂田街道吉华路新天下华赛工业厂区2号厂房101、(二楼) 201, Guangdong 518000 (CN)。
- (72) 发明人: 刘若鹏(LIU, Ruopeng); 中国广东省深圳市南山区高新区高新中一道9号软件大厦, Guangdong 518057 (CN)。 季春霖(JI, Chunlin); 中国广东省深圳市南山区高新区高新中一道9号软件大厦, Guangdong 518057 (CN)。 聂晶(NIE, Jing); 中国广东省深圳市南山区高新区高新中一道9号软件大厦, Guangdong 518057 (CN)。 谭艳清(TAN, YanQing); 中国广东省深圳市南山区高新区高新中一道9号软件大厦, 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, 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, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR,

(54) Title: METHOD FOR ADJUSTING ELECTROMAGNETIC WAVE, AND METAMATERIAL

(54) 发明名称: 调节电磁波的方法和超材料

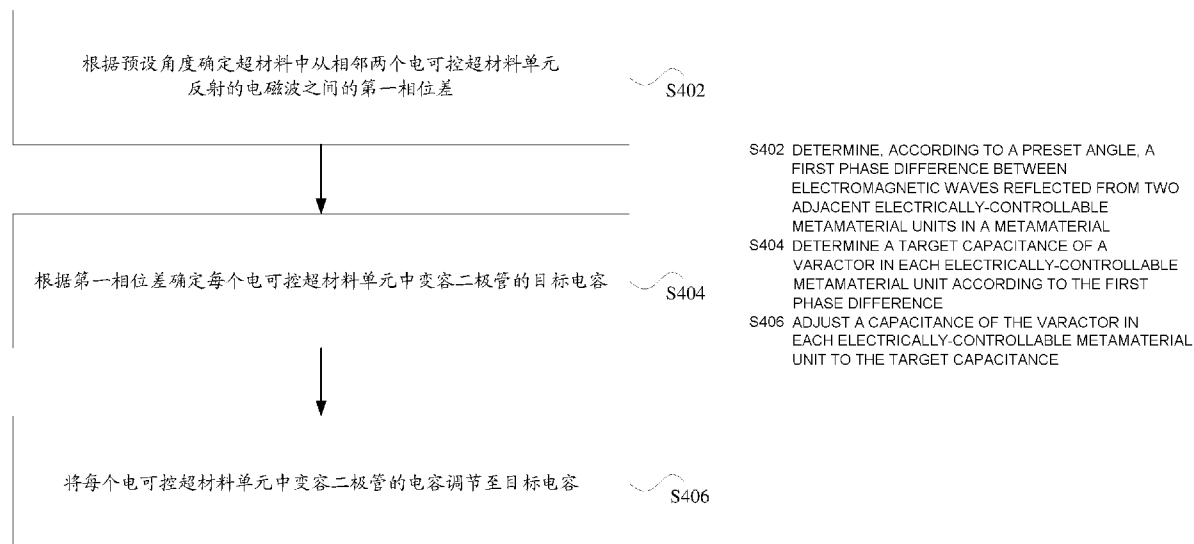


图 4

(57) Abstract: A method for adjusting an electromagnetic wave, and a metamaterial. The method comprises: determining, according to a preset angle, a first phase difference between electromagnetic waves reflected from two adjacent electrically-controllable metamaterial units in a metamaterial (S402); determining a target capacitance of a varactor in each electrically-controllable metamaterial unit according to the first phase difference (S404); and adjusting a capacitance of the varactor in each electrically-controllable metamaterial unit to the target capacitance (S406). The technical problem in the prior art of a metamaterial in failing to dynamically adjust an



WO 2017/197999 A1

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))。

electromagnetic wave simply and rapidly is resolved.

(57) 摘要: 一种调节电磁波的方法和超材料。其中, 该方法包括: 根据预设角度确定超材料中从相邻两个电可控超材料单元反射的电磁波之间的第一相位差(S402); 根据第一相位差确定每个电可控超材料单元中变容二极管的目标电容(S404); 将每个电可控超材料单元中变容二极管的电容调节至目标电容(S406)。解决了现有技术中超材料无法简单快速地动态调节电磁波的技术问题。

调节电磁波的方法和超材料

技术领域

本发明涉及通信领域，具体而言，涉及一种调节电磁波的方法和超材料。

背景技术

目前，大多数用于电磁调控的超材料在制造完成之后，对电磁波的调控都是固定的、不可调节的，例如，某一个用于电磁调控的超材料只能将入射电磁波的方向改变某一个特定的角度，而不能将入射电磁波的方向改变其他的角度，这就限制了用于电磁调控的超材料的应用范围。

近年来，动态可调超材料受到了研究人员的广泛关注，能够通过以下两种方式实现电磁波可调功能。

方式一：通过机械转动能够实现电磁波可调功能，但是存在扫描速度慢、机械金属器件笨重且占用空间尺寸大、机械故障频繁、需要经常维护等缺点。

方式二：通过一些可控元器件如 PIN 二极管也能控制超材料某些部位的电磁参数，但是随着相位调控状态数的增加，控制电路相当复杂，加工复杂，成本非常高。

针对上述的问题，目前尚未提出有效的解决方案。

发明内容

本发明实施例提供了一种调节电磁波的方法和超材料，以至少解决现有技术中超材料无法简单快速地动态调节电磁波的技术问题。

根据本发明实施例的一个方面，提供了一种调节电磁波的方法，其特征在于，包括：根据预设角度确定超材料中从相邻两个电可控超材料单元反射的电磁波之间的第一相位差，其中，所述超材料包括多个所述电可控超材料单元，所述电可控超材料单元包括变容二极管，其中，所述预设角度为电磁波从所述超材料的表面反射的角度，所述预设角度与所述第一相位差之间存在关联关系；根据所述第一相位差确定每个所述电可控超材料单元中所述变容二极管的目标电容；将每个所述电可控超材料单元中所述变容二极管的电容调节至所述目标电容。

进一步地，根据所述第一相位差确定每个所述电可控超材料单元中所述变容二极管的目标电容包括：获取不同电容下所述超材料的相位随频率变化的第一曲线；根据所述第一曲线和入射到所述超材料的表面的电磁波的第一频率，获取在所述第一频率下相位

随电容变化的第二曲线；从所述第二曲线中获取与所述第一相位差对应的所述目标电容。

进一步地，所述超材料包括多个子结构，所述子结构包括多个行单元，每个所述行单元中包括多个所述电可控超材料单元，从所述第二曲线中获取与所述第一相位差对应的所述目标电容包括：根据所述第一相位差确定所述子结构中所述行单元的个数；根据所述行单元的个数确定每个所述行单元所对应的相位；从所述第二曲线中获取每个所述行单元所对应的相位所关联的电容；将获取到的电容作为相应的所述行单元的所述目标电容。

进一步地，根据所述第一相位差确定所述子结构中所述行单元的个数包括：采用以下公式确定所述行单元的个数： $\Delta\varphi_{\text{deg}} = \frac{360^\circ}{N}$ ，其中，N 为每个所述子结构中所述行单元的个数， $\Delta\varphi_{\text{deg}}$ 是所述第一相位差。

进一步地，将每个所述电可控超材料单元中所述变容二极管的电容调节至所述目标电容包括：在预设的电容与电压的关联关系中查找与所述目标电容对应的目标电压；在所述变容二极管上施加所述目标电压。

进一步地，根据预设角度确定超材料中从相邻两个电可控超材料单元反射的电磁波之间的第一相位差包括：根据 $\theta = \arcsin\left(\frac{\lambda}{p} \cdot \frac{\Delta\varphi_{\text{deg}}}{360^\circ}\right)$ 确定所述第一相位差，其中 θ 是所述预设角度， $\Delta\varphi_{\text{deg}}$ 是所述第一相位差， λ 是所述电磁波的波长， p 是所述电可控超材料单元的长度，且所述电可控超材料单元的长度和宽度相等，相邻两个所述电可控超材料单元的中心点之间的距离与所述长度相同。

根据本发明实施例的另一方面，还提供了一种超材料，其特征在于，包括：基底材料；电可控超材料单元阵列，设置在所述基底材料上，包括多个电可控超材料单元，其中，所述电可控超材料单元包括：金属微结构；变容二极管，所述变容二极管设置在所述金属微结构的开口处；同轴通孔，设置在所述金属微结构上，所述金属微结构通过所述同轴通孔与馈电网络连接，用于向所述变容二极管施加电压。

进一步地，所述金属微结构为双 K 型金属微结构。

进一步地，所述金属微结构的材料为以下任意一种：铜、银或者金。

进一步地，所述基底材料为非磁性介质材料，所述基底材料的介电常数在 2 至 10 之间，磁导率为 1。

进一步地，垂直于所述金属微结构的表面入射的电磁波为平面波，所述电磁波的幅值和相位在垂直于入射方向上相等。

进一步地，所述超材料包括多个子结构，所述子结构包括多个行单元，每个所述子结构中所述行单元的个数与第一相位差满足关系式： $\Delta\varphi_{\text{deg}} = \frac{360^\circ}{N}$ ，其中，N 为每个所述子结构中所述行单元的个数， $\Delta\varphi_{\text{deg}}$ 是所述第一相位差。

进一步地，所述电可控超材料单元的长度和宽度相等，相邻两个所述电可控超材料单元的中心点之间的距离与所述长度相同。

进一步地，所述超材料还包括：接地板；泡沫层，设置在所述接地板和所述基底材料之间。

进一步地，入射到所述超材料的表面的电磁波的频率为 0.3GHz 至 300GHz。

进一步地，所述变容二极管的电容在 0.06pF 至 3pF 之间。

进一步地，电磁波从所述超材料表面反射的反射损耗小于-2dB。

在本发明实施例中，该超材料包括：基底材料；电可控超材料单元阵列，设置在基底材料上，包括多个电可控超材料单元，其中，电可控超材料单元包括：金属微结构；变容二极管，变容二极管设置在金属微结构的开口处；同轴通孔，设置在金属微结构上，金属微结构通过同轴通孔与馈电网络连接，用于向变容二极管施加电压。

当需要改变入射到超材料的表面的电磁波的反射方向时，根据需要得到的电磁波的反射方向的角度（预设角度）来确定第一相位差，其中，预设角度与第一相位差之间存在关联关系，再根据第一相位差确定每个电可控超材料单元中变容二极管的目标电容，根据目标电容确定需要向变容二极管施加的目标电压，当向变容二极管施加目标电压之后，变容二极管的电容为目标电容，从相邻两个电可控超材料单元反射的电磁波之间的相位差为第一相位差，得到的电磁波的反射方向的角度为预设角度，由于预设角度可以是范围内的任意一个角度，只需要向可变二极管施加对应于预设角度的电压，即可在一个大的连续范围内调节电磁波从超材料表面反射的方向，达到了简单快速地动态调节电磁波的技术效果，进而解决了现有技术中超材料无法简单快速地动态调节电磁波的技术问题。

附图说明

此处所说明的附图用来提供对本发明的进一步理解，构成本发明的一部分，本发明的示意性实施例及其说明用于解释本发明，并不构成对本发明的不当限定。在附图中：

图 1 是根据本发明实施例的超材料的示意图；

图 2 是根据本发明实施例的电可控超材料单元的示意图；

图 3 是根据本发明实施例的超材料的立体结构示意图；

图 4 是根据本发明实施例的调节电磁波在超材料表面的反射方向的方法的流程图;

图 5 是根据本发明实施例的第一曲线的示意图;

图 6 是根据本发明实施例的电磁波的频率为 14GHz 时, 第二曲线的示意图;

图 7-1 是根据本发明实施例的当第一相位差 $\Delta\varphi_{\text{deg}}=0$, 预设角度 $\theta=0$ 时, 在超材料表面发生反射的电磁波的反射率随反射角变化的曲线;

图 7-2 是根据本发明实施例的当第一相位差 $\Delta\varphi_{\text{deg}}=60^\circ$, 预设角度 $\theta=22.1^\circ$ 时, 在超材料表面发生反射的电磁波的反射率随反射角变化的曲线;

图 7-3 是根据本发明实施例的当第一相位差 $\Delta\varphi_{\text{deg}}=90^\circ$, 预设角度 $\theta=32.4^\circ$ 时, 在超材料表面发生反射的电磁波的反射率随反射角变化的曲线;

图 7-4 是根据本发明实施例的当第一相位差 $\Delta\varphi_{\text{deg}}=120^\circ$, 预设角度 $\theta=45.6^\circ$ 时, 在超材料表面发生反射的电磁波的反射率随反射角变化的曲线;

图 8 是根据本发明实施例的电容取不同值时, 入射到超材料表面的电磁波的反射损耗随频率的变化曲线。

具体实施方式

为了使本技术领域的人员更好地理解本发明方案, 下面将结合本发明实施例中的附图, 对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述, 显然, 所描述的实施例仅仅是本发明一部分的实施例, 而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例, 本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例, 都应当属于本发明保护的范围。

需要说明的是, 本发明的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象, 而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的数据在适当情况下可以互换, 以便这里描述的本发明的实施例能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。此外, 术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形, 意图在于覆盖不排他的包含, 例如, 包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元, 而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

本发明实施例提供了一种超材料。

图 1 是根据本发明实施例的超材料的示意图，如图 1 所示，该超材料包括基底材料 10 和电可控超材料单元阵列 20。电可控超材料单元阵列设置在基底材料上，包括多个电可控超材料单元。

图 2 是根据本发明实施例的电可控超材料单元的示意图，如图 2 所示，电可控超材料单元包括金属微结构 30、变容二极管 32 和同轴通孔 34。可选地，金属微结构的材料为以下任意一种：铜、银或者金。可选地，金属微结构为双 K 型金属微结构，即该金属微结构是由两个“K”字形的金属片沿水平轴按轴对称排列后形成，每个“K”字形的金属片由一个直线形金属片和一个半圆环金属片组成。可选地，基底材料为非磁性介质材料，基底材料的介电常数在 2 至 10 之间，磁导率为 1。

金属微结构 30 由两个“K”型结构组成。两个“K”之间具有开口，该开口即金属微结构 30 的开口，变容二极管设置在该金属微结构 30 的开口处。同轴通孔 34 设置在金属微结构 30 上，金属微结构 30 通过同轴通孔与馈电网络连接，用于向变容二极管施加电压。

当向变容二极管施加不同的电压时，变容二极管的电容不同。在本发明实施例中，通过同轴通孔连接背板馈电网络，利用 DAC 转换至 CPU 编程控制，通过背板馈电网络以及金属微结构向变容二极管施加电压。当向变容二极管施加直流电压时，金属微结构本身能够作为导线，不需要额外使用导线，从而避免了额外使用导线对超材料的电磁特性产生的影响。

当需要改变入射到超材料的表面的电磁波的反射方向时，根据需要得到的电磁波的反射方向的角度（预设角度）来确定第一相位差，其中，预设角度与第一相位差之间存在关联关系。再根据第一相位差确定每个电可控超材料单元中变容二极管的目标电容，根据目标电容确定需要向变容二极管施加的目标电压。

调节变容二极管的电容，能够改变超材料的电磁特性，从而使得从超材料的相邻的两个电可控超材料单元反射的电磁波具有特定的相位差，由于相位差与预设角度相对应，因此，调节相位差能够改变入射在超材料的表面的电磁波的反射方向。

当向变容二极管施加目标电压之后，变容二极管的电容为目标电容，从相邻两个电可控超材料单元反射的电磁波之间的相位差为第一相位差，得到的电磁波的反射方向的角度为预设角度，由于预设角度可以是范围内的任意一个角度，只需要向可变二极管施加对应于预设角度的电压，即可在一个大的连续范围内调节电磁波从超材料表面反射的方向，解决了现有技术中具有超材料的超材料无法简单快速地动态调节电磁波的技术问题，达到了简单快速地动态调节电磁波的技术效果。

在本发明实施例中，电磁波正入射到超材料的表面，反射角度不为 0，即，超材料对电磁波的反射角度进行了调节，电磁波的频率不变。

可选地，垂直于金属微结构的表面入射的电磁波为平面波，电磁波的幅值和相位在垂直于入射方向上相等。

可选地，超材料包括多个子结构，子结构包括多个行单元，每个子结构中行单元的个数与第一相位差满足关系式： $\Delta\varphi_{\text{deg}} = \frac{360^\circ}{N}$ ，其中，N 为每个子结构中行单元的个数， $\Delta\varphi_{\text{deg}}$ 是第一相位差。由于超材料至少包括一个子结构，因此 N 也可以看做是超材料中行单元的个数的最小值。

超材料包括多个相同的子结构。每个子结构中都包括若干行，每行包括多个电可控超材料单元。在调节变容二极管的电容时，每一行的多个电可控超材料单元中的变容二极管的电容是相等的。

例如，假设超材料包括 12×12 电可控超材料单元阵列。假设第一位相差是 120° ，则每个子结构中行单元的个数 $N = 360^\circ / 120^\circ = 3$ 。

由于每个子结构包括 3 个行单元，超材料一共有 12 行，所以该超材料包括 4 个相同的子结构，每个子结构包括 3 行，每行包括 12 个电可控超材料单元。超材料的第 1 行、第 4 行、第 7 行、第 10 行的电可控超材料单元的电容是相等的，均为 C_1 ；超材料的第 2 行、第 5 行、第 8 行、第 11 行的电可控超材料单元的电容是相等的，均为 C_2 ；超材料的第 3 行、第 6 行、第 9 行、第 12 行的电可控超材料单元的电容是相等的，均为 C_3 。其中， C_1 、 C_2 、 C_3 这三个电容是不同的。

可选地，如图 3 所示，超材料还包括：接地板 40 和泡沫层 38。泡沫层设置在接地板和基底材料之间。泡沫层的作用是减少反射损耗，减缓相位的变化。

可选地，电可控超材料单元的长度和宽度相等，相邻两个电可控超材料单元的中心点之间的距离与长度相同。一般来说，相邻两个电可控超材料单元的中心点之间的距离的取值范围在入射到超材料表面的电磁波的 $1/2$ 个波长至 1 个波长之间。

由于入射到超材料表面的电磁波的频率可能是在一定频率范围内的，此时，从这个频率范围内选择中心位置的频率作为中心工作频率，将中心工作频率作为电磁波的频率进行计算。如无特殊说明，下面在计算时，所提到的入射到超材料表面的电磁波的频率均指中心工作频率。

根据电磁波的波长与频率之间的关系，当确定电磁波的频率时，即可确定出电磁波的波长。

可选地，当频率为 14GHz 时，电可控超材料单元的长和宽相等，均为 10mm，金属微结构的厚度为 0.035mm，基底材料的厚度为 0.3mm，泡沫层厚度为 0.5mm，接地板的厚度为 0.035mm。

如图 2 所示，当频率为 14GHz 时，电可控超材料单元的长和宽相等，均为 10mm，即

$p=10\text{mm}$ 。金属微结构 30 的内环的半径 $R1=3\text{mm}$ ，金属微结构的外环的半径 $R2=4\text{mm}$ 。金属微结构的两个“K”型结构上各设置有一个同轴通孔 34。金属微结构的两个“K”型结构的开口处设置有变容二极管 32，金属微结构的两个“K”型结构的开口的距离 $g=1\text{mm}$ 。相邻两个电可控超材料单元的中心点之间的距离也是 10mm 。

根据本发明实施例，提供了一种调节电磁波在超材料表面的反射方向的方法的实施例，需要说明的是，在附图的流程图示出的步骤可以在诸如一组计算机可执行指令的计算机系统中执行，并且，虽然在流程图中示出了逻辑顺序，但是在某些情况下，可以以不同于此处的顺序执行所示出或描述的步骤。

本发明实施例提供了一种调节电磁波在超材料表面的反射方向的方法。图 4 是根据本发明实施例的调节电磁波在超材料表面的反射方向的方法的流程图，如图 4 所示，该方法包括以下步骤：

步骤 S402，根据预设角度确定超材料中从相邻两个电可控超材料单元反射的电磁波之间的第一相位差，其中，超材料包括多个电可控超材料单元，电可控超材料单元包括变容二极管，其中，预设角度为电磁波从超材料的表面反射的角度，预设角度与第一相位差之间存在关联关系。

步骤 S404，根据第一相位差确定每个电可控超材料单元中变容二极管的目标电容。

步骤 S406，将每个电可控超材料单元中变容二极管的电容调节至目标电容。

当向变容二极管施加不同的电压时，变容二极管的电容不同。

当需要改变入射到超材料的表面的电磁波的反射方向时，根据需要得到的电磁波的反射方向的角度（预设角度）来确定第一相位差，其中，预设角度与第一相位差之间存在关联关系。再根据第一相位差确定每个电可控超材料单元中变容二极管的目标电容，根据目标电容确定需要向变容二极管施加的目标电压。

当向变容二极管施加目标电压之后，变容二极管的电容为目标电容，从相邻两个电可控超材料单元反射的电磁波之间的相位差为第一相位差，得到的电磁波的反射方向的角度为预设角度，由于预设角度可以是范围内的任意一个角度，只需要向可变二极管施加对应于预设角度的电压，即可在一个大的连续范围内调节电磁波从超材料表面反射的方向，解决了现有技术中超材料无法简单快速地动态调节电磁波的技术问题，达到了简单快速地动态调节电磁波的技术效果。

为了叙述方便，如无特殊说明，本发明实施例中的电磁波均正入射（即入射角 $=0$ ）到超材料的表面。应该认识到，对于电磁波斜入射到超材料的表面的情况，本发明实施例也适用。

可选地，根据第一相位差确定每个电可控超材料单元中变容二极管的目标电容包括：

获取不同电容下超材料的相位随频率变化的第一曲线；根据第一曲线和入射到超材料的表面的电磁波的第一频率，获取在第一频率下相位随电容变化的第二曲线；从第二曲线中获取与第一相位差对应的目标电容。第一曲线和第二曲线是利用电磁仿真软件 CST 仿真得到的。

可选地，超材料包括多个子结构，子结构包括多个行单元，每个行单元中包括多个电可控超材料单元，从第二曲线中获取与第一相位差对应的目标电容包括：根据第一相位差确定子结构中行单元的个数；根据行单元的个数确定每个行单元所对应的相位；从第二曲线中获取每个行单元所对应的相位所关联的电容；将获取到的电容作为相应的行单元的目标电容。

图 5 是根据本发明实施例的第一曲线的示意图。图 5 中的横轴表示频率，纵轴表示相位。图 5 示出了当电容分别取 9 个不同的值时，相位随频率变化的曲线。

对应于每一个频率，能够通过拟合方式得到对应于该频率的第二曲线。下面以 14GHz 这个频率为例进行详细说明。假设入射到超材料的表面的电磁波的频率为 14GHz（即上述第一频率），在图 5 中画一条直线，该直线与图 5 的横轴垂直，并与横轴的交点是 14GHz。该直线与图 5 中的 9 条曲线一共有 9 个交点，并且 9 个交点的纵坐标不同，横坐标均为 14GHz。根据这 9 个交点的纵坐标和 9 个交点分别位于的曲线对应的电容的值，即可拟合出在第一频率为 14GHz 时，相位随电容变化的第二曲线。图 6 是根据本发明实施例的电磁波的频率为 14GHz 时，第二曲线的示意图。第二曲线的横轴表示电容，纵轴表示相位。

使用以上方法，可以得到第一曲线中的任意一个频率下相位随电容变化的第二曲线。并且，当第一曲线中的曲线的数量越多时，拟合出的第二曲线就越光滑。

可选地，根据第一相位差确定子结构中行单元的个数包括：采用以下公式确定行单元的个数： $\Delta\varphi_{\text{deg}} = \frac{360^\circ}{N}$ ，其中，N 为每个子结构中行单元的个数， $\Delta\varphi_{\text{deg}}$ 是第一相位差。

可选地，将每个电可控超材料单元中变容二极管的电容调节至目标电容包括：在预设的电容与电压的关联关系中查找与目标电容对应的目标电压；在变容二极管上施加目标电压。

当得到第二曲线之后，从第二曲线中获取与第一相位差对应的目标电容。为了将这个过程描述清楚，本发明实施例以下面的例 1 和例 2 来进行说明。

例 1，假设超材料是 12×12 电可控超材料单元阵列，假设第一相位差是 120° ，也就是说相邻两个电可控超材料单元反射的电磁波之间的相位差是 120° ，每个子结构中行单元的个数 $N = 360^\circ / \text{第一相位差} = 3$ ，即一个子结构包括 3 行。假设入射到超材料的表面的电磁波的频率为 14GHz。可以令子结构的第 1 行的电可控超材料单元的相位是 -120° ，令子结构的第 2 行的电可控超材料单元的相位是 0° ，令子结构的第 3 行的电可控超材料

单元的相位是 120° 。

从图 6 中读出相位 -120° 、相位 0° 和相位 120° 分别对应的电容，假设相位 -120° 对应的电容是 $C(-120^\circ)$ ，相位 0° 对应的电容是 $C(0^\circ)$ ，相位 120° 对应的电容是 $C(120^\circ)$ ，则这三个电容即为目标电容，将每个子结构的第 1 行的变容二极管的电容调节为 $C(-120^\circ)$ ，将每个子结构的第 2 行的变容二极管的电容调节为 $C(0^\circ)$ ，将每个子结构的第 3 行的变容二极管的电容调节为 $C(120^\circ)$ 。即，将超材料的第 1 行、第 4 行、第 7 行、第 10 行的变容二极管的电容调节为 $C(-120^\circ)$ ；将超材料的第 2 行、第 5 行、第 8 行、第 11 行的变容二极管的电容调节为 $C(0^\circ)$ ；将超材料的第 3 行、第 6 行、第 9 行、第 12 行的变容二极管的电容调节为 $C(120^\circ)$ 。这样，超材料中每相邻的两行的相位差是 120° 。需要注意的是，第 3 行的相位是 120° ，第 4 行的相位是 -120° ，第 4 行与第 3 行的相位差是 $(-120^\circ) - 120^\circ = -240^\circ$ 。由于三角函数是以 360° 为周期的周期函数，所以，第 4 行与第 3 行之间的相位差是 -240° ，也可以认为是第 4 行与第 3 行之间的相位差是 120° 。

需要注意的是，以上在从图 6 中读取电容的过程中，仅仅列出一种电可控超材料单元的相位的取值方式，实际上，子结构的第 1 行、第 2 行、第 3 行的电可控超材料单元的相位有无数种取值方式，例如，令子结构的第 1 行、第 2 行、第 3 行的电可控超材料单元的相位分别是 -110° 、 10° 、 130° ；或者，令子结构的第 1 行、第 2 行、第 3 行的电可控超材料单元的相位分别是 -100° 、 20° 、 140° ；或者，令子结构的第 1 行、第 2 行、第 3 行的电可控超材料单元的相位分别是 -101° 、 19° 、 139° ，等等，都是可以的。

例 2，假设超材料是 12×12 电可控超材料单元阵列，假设第一相位差是 90° ，也就是说相邻两个电可控超材料单元反射的电磁波之间的相位差是 90° ，每个子结构中行单元的个数 $N = 360^\circ / \text{第一相位差} = 4$ ，即一个子结构包括 4 行。可以令子结构的第 1 行的电可控超材料单元的相位是 -150° ，令子结构的第 2 行的电可控超材料单元的相位是 -60° ，令子结构的第 3 行的电可控超材料单元的相位是 30° ，令子结构的第 4 行的电可控超材料单元的相位是 120° 。

从图 6 中读出相位 -150° 、相位 -60° 、相位 30° 和相位 120° 分别对应的电容，假设相位 -150° 对应的电容是 $C(-150^\circ)$ ，相位 -60° 对应的电容是 $C(-60^\circ)$ ，相位 30° 对应的电容是 $C(30^\circ)$ ，相位 120° 对应的电容是 $C(120^\circ)$ 。

则这 4 个电容即为目标电容，将每个子结构的第 1 行的变容二极管的电容调节为 $C(-150^\circ)$ ，将每个子结构的第 2 行的变容二极管的电容调节为 $C(-60^\circ)$ ，将每个子结构的第 3 行的变容二极管的电容调节为 $C(30^\circ)$ ，将每个子结构的第 4 行的变容二极管的电容调节为 $C(120^\circ)$ 。即，将超材料的第 1 行、第 5 行、第 9 行的变容二极管的电容调节为 $C(-150^\circ)$ ；将超材料的第 2 行、第 6 行、第 10 行的变容二极管的电容调节为 $C(-60^\circ)$ ；将超材料的第 3 行、第 7 行、第 11 行的变容二极管的电容调节为 $C(30^\circ)$ ；

将超材料的第 4 行、第 8 行、第 12 行的变容二极管的电容调节为 C (120°)。这样，超材料中每相邻的两行的相位差是 90°。需要注意的是，第 4 行的相位是 120°，第 5 行的相位是 -150°，第 5 行与第 4 行的相位差是 (-150°) - 120° = -270°。由于三角函数是以 360° 为周期的周期函数，所以，第 4 行与第 3 行之间的相位差是 -270°，也可以认为是第 4 行与第 3 行之间的相位差是 90°。

需要注意的是，以上在从图 6 中读取电容的过程中，仅仅列出一种电可控超材料单元的相位的取值方式，实际上，在从第二曲线中读取电容的过程中，子结构的第 1 行、第 2 行、第 3 行、第 4 行的电可控超材料单元的相位有无数种取值方式，例如，令子结构的第 1 行、第 2 行、第 3 行、第 4 行的电可控超材料单元的相位分别是 -151°、-61°、29° 和 119°；或者，令子结构的第 1 行、第 2 行、第 3 行、第 4 行的电可控超材料单元的相位分别是 -152°、-62°、28° 和 118°；或者，令子结构的第 1 行、第 2 行、第 3 行、第 4 行的电可控超材料单元的相位分别是 -149°、-59°、31° 和 121°，等等，都是可以的。

可选地，根据预设角度确定超材料中从相邻两个电可控超材料单元反射的电磁波之间的第一相位差包括：根据 $\theta = \arcsin\left(\frac{\lambda}{p} \cdot \frac{\Delta\varphi_{\text{deg}}}{360^\circ}\right)$ 确定第一相位差，其中 θ 是预设角度， $\Delta\varphi_{\text{deg}}$ 是第一相位差， λ 是电磁波的波长， p 是电可控超材料单元的长度，且电可控超材料单元的长度和宽度相等，相邻两个电可控超材料单元的中心点之间的距离与长度相同。

当电可控超材料单元的长度和宽度相等时，相邻两个电可控超材料单元的中心点之间的距离即为电可控超材料单元的长度（或者宽度）。例如，假设电磁波的频率为 14GHz， $p=10\text{mm}$ 。根据波长与频率的关系，能够求得该电磁波的波长 λ 约为 21.43mm。

当第一相位差 $\Delta\varphi_{\text{deg}}=120^\circ$ 时，根据 $\theta = \arcsin\left(\frac{\lambda}{p} \cdot \frac{\Delta\varphi_{\text{deg}}}{360^\circ}\right)$ 能够计算出 $\theta=45.6^\circ$ 。

当第一相位差 $\Delta\varphi_{\text{deg}}=90^\circ$ 时，根据 $\theta = \arcsin\left(\frac{\lambda}{p} \cdot \frac{\Delta\varphi_{\text{deg}}}{360^\circ}\right)$ 能够计算出 $\theta=32.4^\circ$ 。

图 7-1 是根据本发明实施例的当第一相位差 $\Delta\varphi_{\text{deg}}=0$ ，预设角度 $\theta=0$ 时，在超材料表面发生反射的电磁波的反射率随反射角变化的曲线。这是未对变容二极管施加任何电压时，得到的曲线。可以看出，反射率在反射角=0 时达到最大值。

图 7-2 是根据本发明实施例的当第一相位差 $\Delta\varphi_{\text{deg}}=60^\circ$ ，预设角度 $\theta=22.1^\circ$ 时，在超材料表面发生反射的电磁波的反射率随反射角变化的曲线。当第一相位差 $\Delta\varphi_{\text{deg}}=60^\circ$

时, 每个子结构包括 6 个行单元, 将这 6 个行单元中的变容二极管的电容值分别进行调整, 调整后从第 1 行至第 6 行的变容二极管的电容值依次分别为: $C(-150^\circ)$ 、 $C(-90^\circ)$ 、 $C(-30^\circ)$ 、 $C(30^\circ)$ 、 $C(90^\circ)$ 、 $C(150^\circ)$, 这些电容值均能够从图 6 中读取。调整后, 可以看出, 反射率在反射角为 -22.1° 达到最大。同理如果电容值依次分别为: $C(150^\circ)$ 、 $C(90^\circ)$ 、 $C(30^\circ)$ 、 $C(-30^\circ)$ 、 $C(-90^\circ)$ 、 $C(-150^\circ)$, 则反射率在 22.1° 达到最大, 反射波束偏折的正负与所加相位差递增还是递减相关。

图 7-3 是根据本发明实施例的当第一相位差 $\Delta\varphi_{\text{deg}}=90^\circ$, 预设角度 $\theta=32.4^\circ$ 时, 在超材料表面发生反射的电磁波的反射率随反射角变化的曲线。当第一相位差 $\Delta\varphi_{\text{deg}}=90^\circ$ 时, 每个子结构包括 4 个行单元, 将这 4 个行单元中的变容二极管的电容值分别进行调整, 调整后从第 1 行至第 4 行的变容二极管的电容值依次分别为: $C(-150^\circ)$ 、 $C(-60^\circ)$ 、 $C(30^\circ)$ 、 $C(120^\circ)$, 这些电容值均能够从图 6 中读取。调整后, 可以看出, 反射率在反射角为 -32.4° 达到最大。即, 反射率在预设角度 32.4° 达到最大。

图 7-4 是根据本发明实施例的当第一相位差 $\Delta\varphi_{\text{deg}}=120^\circ$, 预设角度 $\theta=45.6^\circ$ 时, 在超材料表面发生反射的电磁波的反射率随反射角变化的曲线。当第一相位差 $\Delta\varphi_{\text{deg}}=120^\circ$ 时, 每个子结构包括 3 个行单元, 将这 3 个行单元中的变容二极管的电容值分别进行调整, 调整后从第 1 行至第 3 行的变容二极管的电容值依次分别为: $C(-150^\circ)$ 、 $C(-30^\circ)$ 、 $C(90^\circ)$, 这些电容值均能够从图 6 中读取。调整后, 可以看出, 反射率在反射角为 -45.6° 达到最大。即, 反射率在预设角度 45.6° 达到最大。

当确定了所需要的反射角 (即上述预设角度) 之后, 根据预设角度计算出第一相位差, 根据第一相位差确定出超材料的每一行电可控超材料单元中的变容二极管的目标电容, 根据变容二极管的电容与电压的关系, 确定出对应于目标电容的目标电压, 将变容二极管的电压调节为目标电压, 这样, 入射到超材料表面的电磁波将会以预设角度反射。预设角度可以是 0 至 90° 范围内的任意角度。而且, 对电磁波的频率无特殊要求, 电磁波的频率在 0.3GHz 至 300GHz 之间时, 均可使用本发明实施例所提供的方法对反射角进行调节。需要注意的是, 当入射到超材料表面的电磁波的频率发生改变时, 目标电容发生改变, 需要重新计算目标电容。也可以通过改变金属微结构的参数以适应入射到超材料表面的电磁波的频率发生改变。

本发明实施例整个装置固定不动, 只需控制变容二极管的外加偏置电压的大小, 即可实现多个频段内共振频率、相位、电磁波反射角度的大范围连续可调, 实现了对超材料电磁性能连续控制, 拓宽了电磁参数的调节范围, 并且整体结构紧凑、集成度高、结构简单、尺寸小、重量轻、制作方便、成本低, 不仅能够应用于扫描平板天线领域, 还能够应用于频率选择表面领域和减小雷达散射截面领域, 极大地提升了同一款超材料

适应不同环境的能力。

图 8 是根据本发明实施例的电容取不同值时，入射到超材料表面的电磁波的反射损耗随频率的变化曲线。使得反射损耗达到最大值的频率为共振频率。从图 8 中能够看出，反射损耗在-2dB 之内，而且，电容取值越小，共振频率越大；电容取值越大，共振频率越小。例如，电容的取值为 $3e^{-13}F$ （即 0.3pF）时，共振频率在 13.49GHz 附近；电容的取值为 $6e^{-14}F$ （即 0.06pF）时，共振频率在 14.82GHz 附近。

可选地，共振频率与电容的关系由以下公式确定：
$$\omega = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$
，其中， ω 为共振频率， L 为变容二极管的电感， C 为变容二极管的电容。

可选地，电磁波从超材料表面反射的反射损耗小于-2dB。

可选地，入射到超材料的表面的电磁波的频率为 0.3GHz 至 300GHz，也就是说，本发明实施例所提供的超材料适用于一个很大的频率范围。

可选地，变容二极管的电容在 0.06pF 至 3pF 之间。

在本发明实施例中，设计周期性边界条件，变容二极管的电容值在 0.06pF 至 3pF 之间变化，能够带来反射相位约 360° 的改变，带宽约为 1GHz，变容二极管外加反偏置电压在 0 至 20V，反射损耗小于-2dB，反射损耗较小。

本发明实施例所提供的超材料对电磁波的相位具有优良的调控性能，为现代卫星和雷达无线通信技术的发展提供了一条全新的技术途径，当将本发明实施例所提供的超材料应用于基于电可控超材料结构的电控扫描天线时，能够达到辐射电磁波束指向性可电控，波束可灵敏连续扫描的技术效果，为下一代的空间站、近地空中平台等通信平台的多功能智能天线奠定了技术基础。

上述本发明实施例序号仅仅为了描述，不代表实施例的优劣。

在本发明的上述实施例中，对各个实施例的描述都各有侧重，某个实施例中未详述的部分，可以参见其他实施例的相关描述。

在本发明所提供的几个实施例中，应该理解到，所揭露的技术内容，可通过其它的方式实现。其中，以上所描述的装置实施例仅仅是示意性的，例如所述单元的划分，可以为一种逻辑功能划分，实际实现时可以有另外的划分方式，例如多个单元或组件可以结合或者可以集成到另一个系统，或一些特征可以忽略，或不执行。另一点，所显示或讨论的相互之间的耦合或直接耦合或通信连接可以是通过一些接口，单元或模块的间接耦合或通信连接，可以是电性或其它的形式。

所述作为分离部件说明的单元可以是或者也可以不是物理上分开的，作为单元显示

的部件可以是或者也可以不是物理单元，即可以位于一个地方，或者也可以分布到多个单元上。可以根据实际的需要选择其中的部分或者全部单元来实现本实施例方案的目的。

另外，在本发明各个实施例中的各功能单元可以集成在一个处理单元中，也可以是各个单元单独物理存在，也可以两个或两个以上单元集成在一个单元中。上述集成的单元既可以采用硬件的形式实现，也可以采用软件功能单元的形式实现。

所述集成的单元如果以软件功能单元的形式实现并作为独立的产品销售或使用，可以存储在一个计算机可读取存储介质中。基于这样的理解，本发明的技术方案本质上或者说对现有技术做出贡献的部分或者该技术方案的全部或部分可以以软件产品的形式体现出来，该计算机软件产品存储在一个存储介质中，包括若干指令用以使得一台计算机设备（可为个人计算机、服务器或者网络设备）执行本发明各个实施例所述方法的全部或部分步骤。而前述的存储介质包括：U 盘、只读存储器（ROM, Read-Only Memory）、随机存取存储器（RAM, Random Access Memory）、移动硬盘、磁碟或者光盘等各种可以存储程序代码的介质。

以上所述仅是本发明的优选实施方式，应当指出，对于本技术领域的普通技术人员来说，在不脱离本发明原理的前提下，还可以做出若干改进和润饰，这些改进和润饰也应视为本发明的保护范围。

1. 一种调节电磁波的方法，其特征在于，包括：

根据预设角度确定超材料中从相邻两个电可控超材料单元反射的电磁波之间的第一相位差，其中，所述超材料包括多个所述电可控超材料单元，所述电可控超材料单元包括变容二极管，其中，所述预设角度为电磁波从所述超材料的表面反射的角度，所述预设角度与所述第一相位差之间存在关联关系；

根据所述第一相位差确定每个所述电可控超材料单元中所述变容二极管的目标电容；

将每个所述电可控超材料单元中所述变容二极管的电容调节至所述目标电容。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，根据所述第一相位差确定每个所述电可控超材料单元中所述变容二极管的目标电容包括：

获取不同电容下所述超材料的相位随频率变化的第一曲线；

根据所述第一曲线和入射到所述超材料的表面的电磁波的第一频率，获取在所述第一频率下相位随电容变化的第二曲线；

从所述第二曲线中获取与所述第一相位差对应的所述目标电容。

3. 根据权利要求 2 所述的方法，其特征在于，所述超材料包括多个子结构，所述子结构包括多个行单元，每个所述行单元中包括多个所述电可控超材料单元，从所述第二曲线中获取与所述第一相位差对应的所述目标电容包括：

根据所述第一相位差确定所述子结构中所述行单元的个数；

根据所述行单元的个数确定每个所述行单元所对应的相位；

从所述第二曲线中获取每个所述行单元所对应的相位所关联的电容；

将获取到的电容作为相应的所述行单元的所述目标电容。

4. 根据权利要求 3 所述的方法，其特征在于，根据所述第一相位差确定所述子结构中所述行单元的个数包括：

采用以下公式确定所述行单元的个数：

$$\Delta\varphi_{\text{deg}} = \frac{360^\circ}{N}, \text{ 其中, } N \text{ 为每个所述子结构中所述行单元的个数, } \Delta\varphi_{\text{deg}} \text{ 是所述}$$

第一相位差。

5. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，将每个所述电可控超材料单元中所述变容二极管的电容调节至所述目标电容包括：

在预设的电容与电压的关联关系中查找与所述目标电容对应的目标电压；

在所述变容二极管上施加所述目标电压。

6. 根据权利要求 1 所述的方法，其特征在于，根据预设角度确定超材料中从相邻两个电可控超材料单元反射的电磁波之间的第一相位差包括：

根据 $\theta = \arcsin\left(\frac{\lambda}{p} \cdot \frac{\Delta\varphi_{\text{deg}}}{360^\circ}\right)$ 确定所述第一相位差，其中 θ 是所述预设角度， $\Delta\varphi_{\text{deg}}$

是所述第一相位差， λ 是所述电磁波的波长， p 是所述电可控超材料单元的长度，且所述电可控超材料单元的长度和宽度相等，相邻两个所述电可控超材料单元的中心点之间的距离与所述长度相同。

7. 一种超材料，其特征在于，包括：

基底材料；

电可控超材料单元阵列，设置在所述基底材料上，包括多个电可控超材料单元，其中，所述电可控超材料单元包括：

金属微结构；

变容二极管，所述变容二极管设置在所述金属微结构的开口处；

同轴通孔，设置在所述金属微结构上，所述金属微结构通过所述同轴通孔与馈电网络连接，用于向所述变容二极管施加电压。

8. 根据权利要求 7 所述的超材料，其特征在于，所述金属微结构为双 K 型金属微结构。
9. 根据权利要求 7 所述的超材料，其特征在于，所述金属微结构的材料为以下任何一种：铜、银或者金。
10. 根据权利要求 7 所述的超材料，其特征在于，所述基底材料为非磁性介质材料，所述基底材料的介电常数在 2 至 10 之间，磁导率为 1。
11. 根据权利要求 7 所述的超材料，其特征在于，垂直于所述金属微结构的表面入射的电磁波为平面波，所述电磁波的幅值和相位在垂直于入射方向上相等。
12. 根据权利要求 7 所述的超材料，其特征在于，所述超材料包括多个子结构，所述子结构包括多个行单元，每个所述子结构中所述行单元的个数与第一相位差满足关系式： $\Delta\varphi_{\text{deg}} = \frac{360^\circ}{N}$ ，其中， N 为每个所述子结构中所述行单元的个数， $\Delta\varphi_{\text{deg}}$ 是所述第一相位差。
13. 根据权利要求 7 所述的超材料，其特征在于，所述电可控超材料单元的长度和宽度相等，相邻两个所述电可控超材料单元的中心点之间的距离与所述长度相同。
14. 根据权利要求 7 所述的超材料，其特征在于，所述超材料还包括：

接地板；

泡沫层，设置在所述接地板和所述基底材料之间。

15. 根据权利要求 7 所述的超材料，其特征在于，入射到所述超材料的表面的电磁波的频率为 0.3GHz 至 300GHz。
16. 根据权利要求 7 所述的超材料，其特征在于，所述变容二极管的电容在 0.06pF 至 3pF 之间。
17. 根据权利要求 7 所述的超材料，其特征在于，电磁波从所述超材料表面反射的反射损耗小于-2dB。

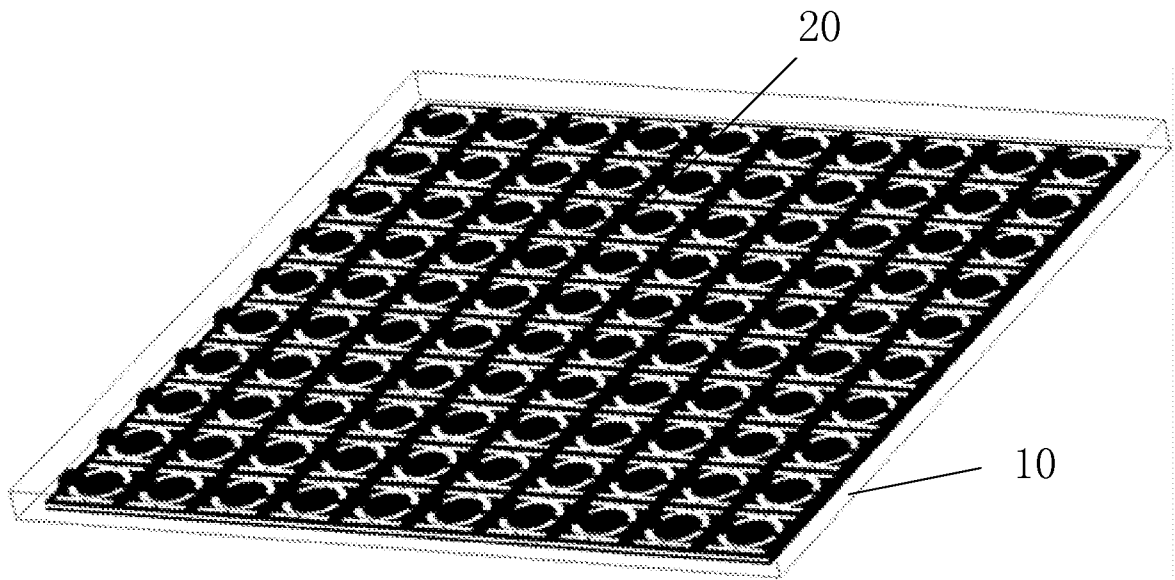


图 1

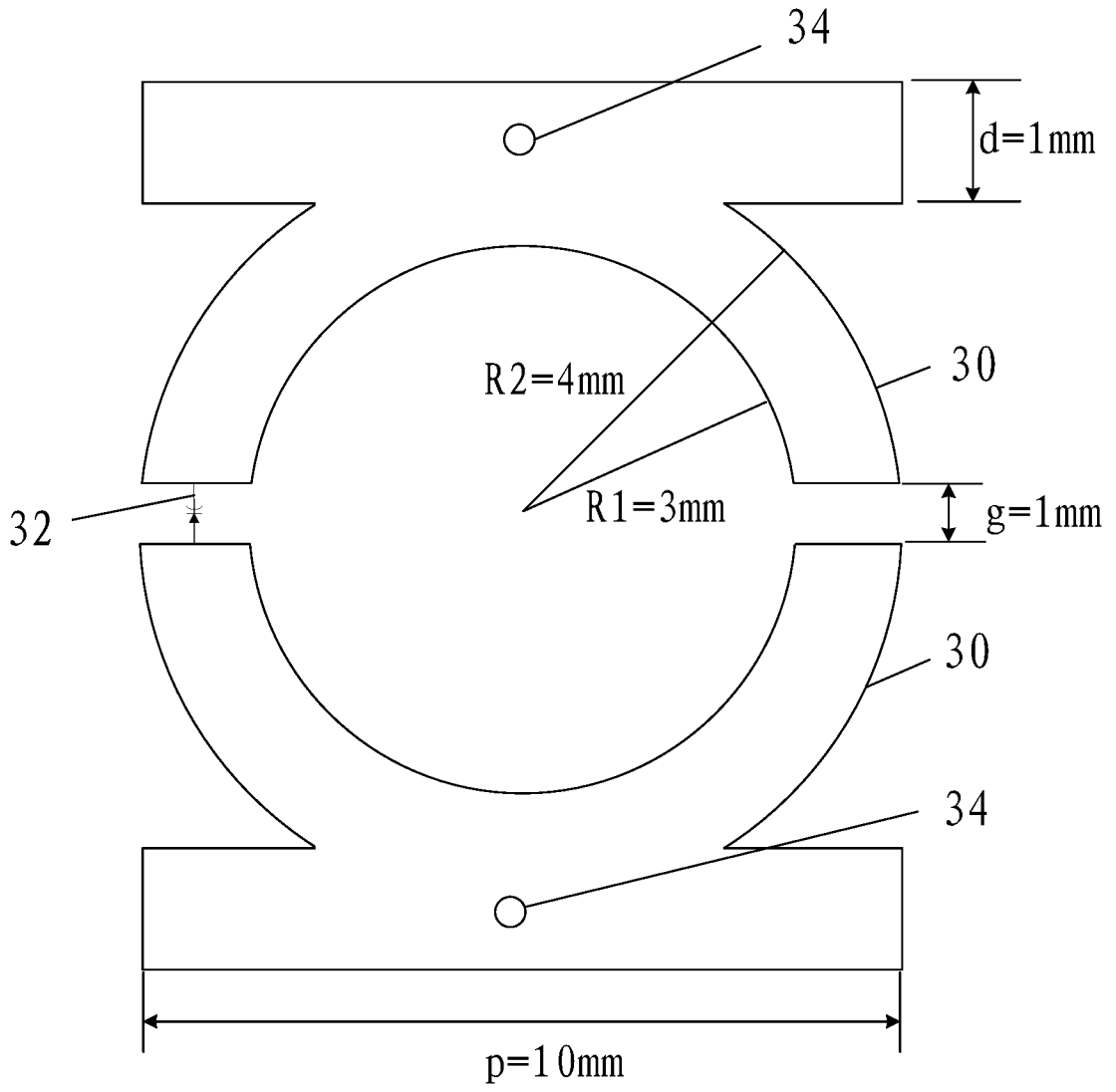


图 2

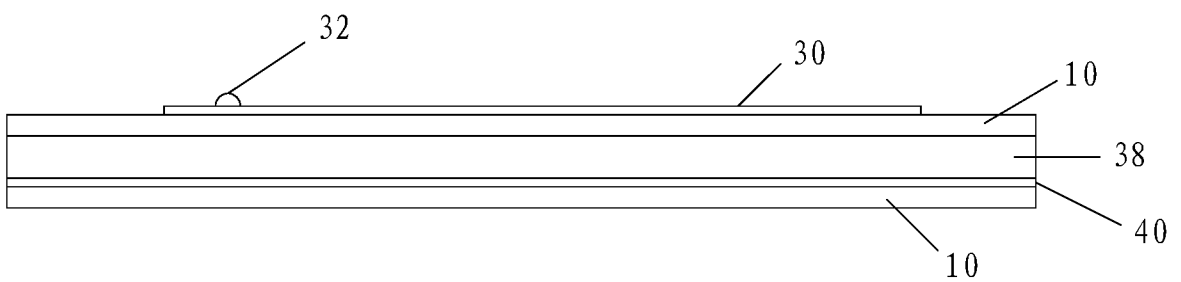


图 3

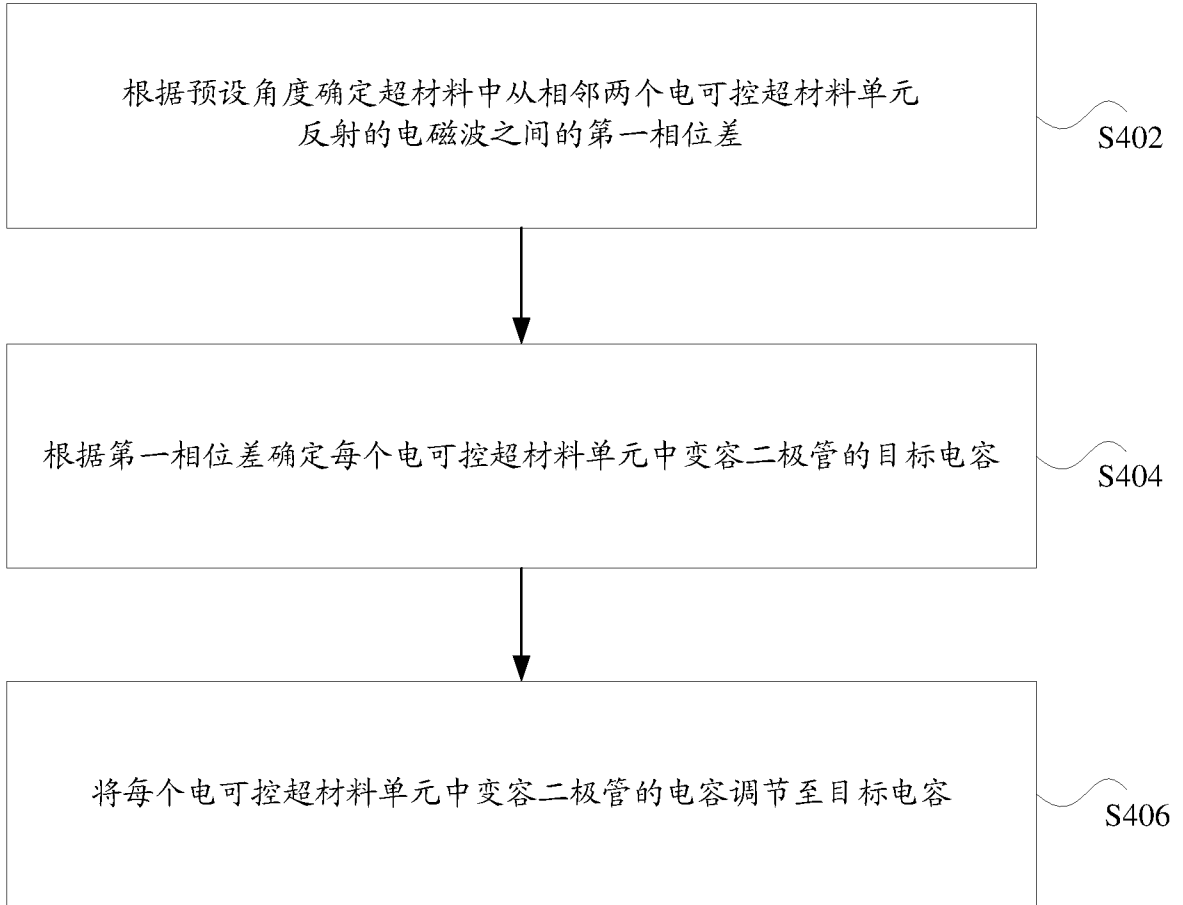


图 4

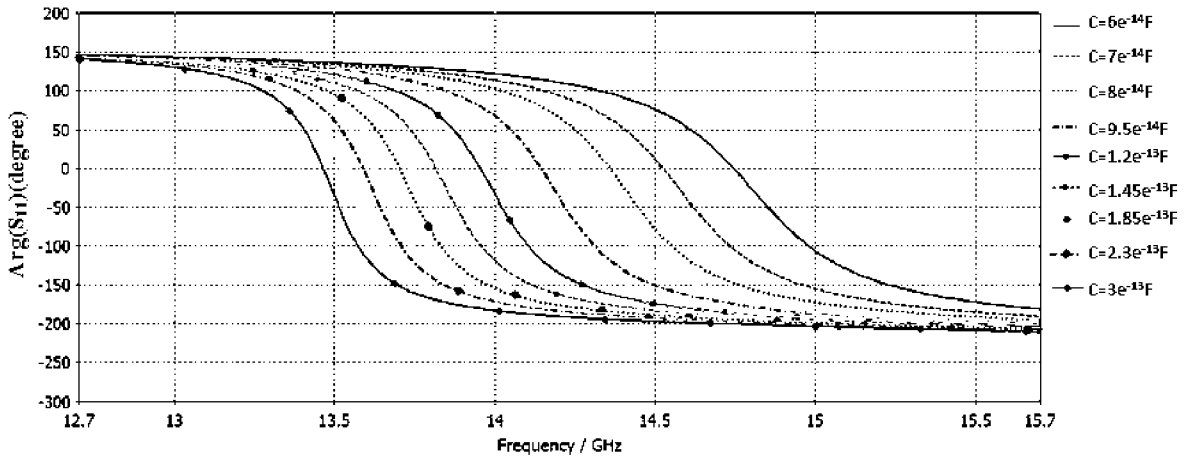


图 5

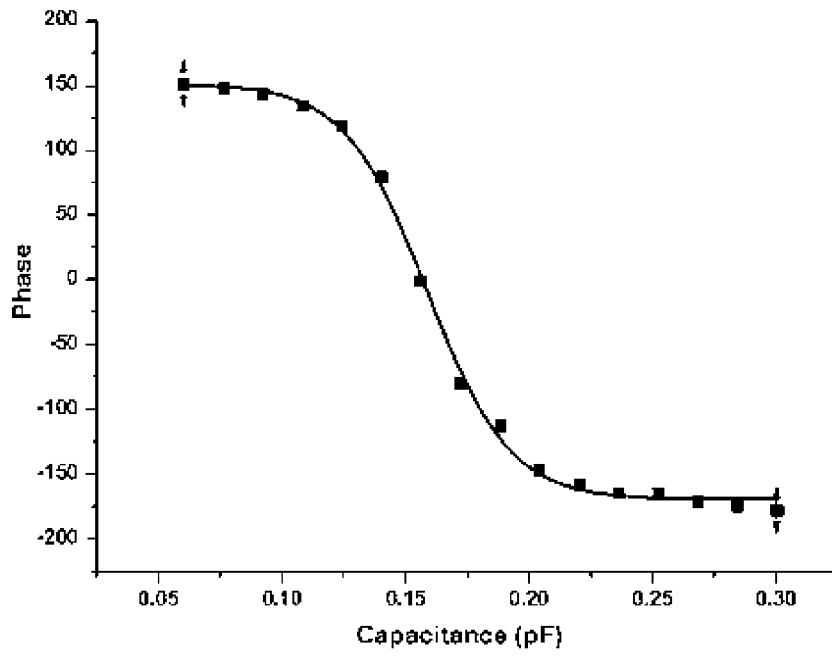


图 6

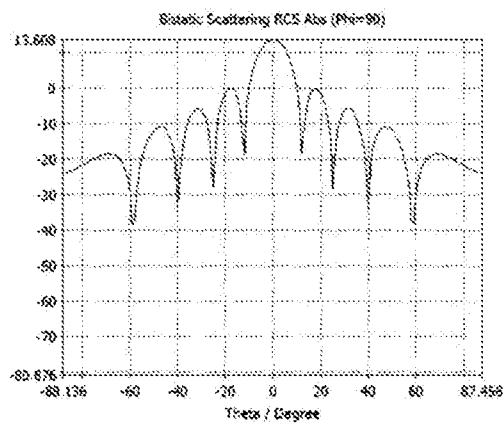


图 7-1

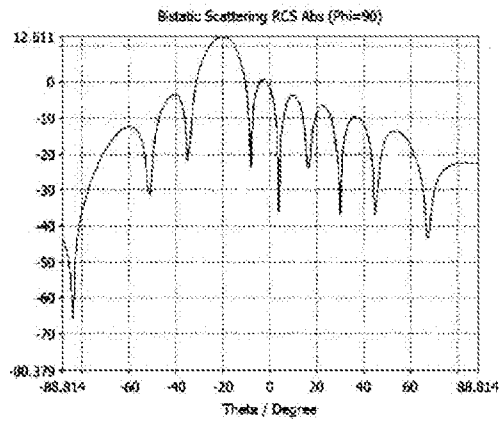


图 7-2

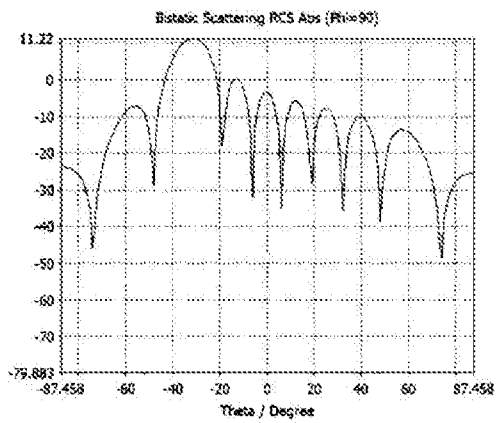


图 7-3

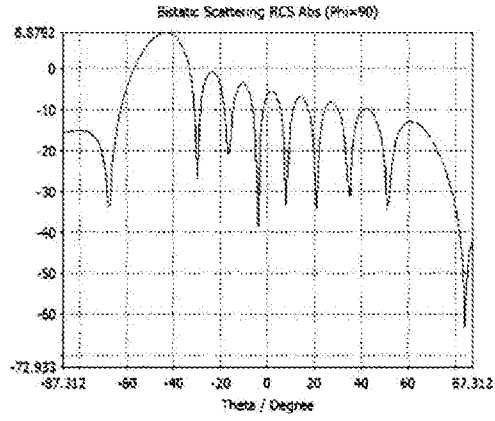


图 7-4

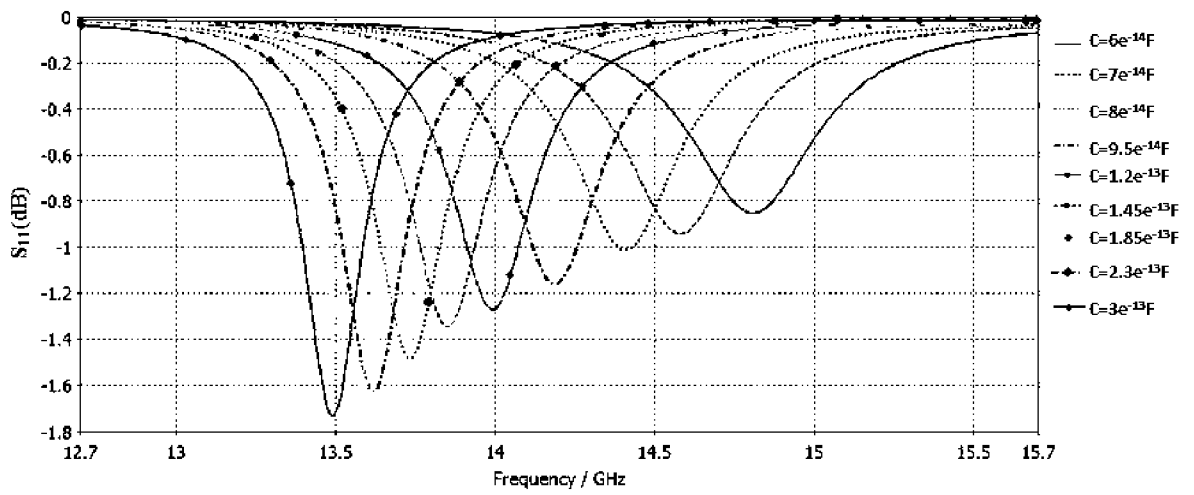


图 8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2017/079576

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01Q 15/00 (2006.01) i; H01Q 15/14 (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)

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)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI, GOOGLE, IEEB: adjust, electromagnetic w wave, material, phase, diode, angle, capacitance, frequency, curve, array

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	CN 103474775 A (THE INSTITUTE OF OPTICS AND ELECTRONICS, CHINESE ACADEMY OF SCIENCES), 25 December 2013 (25.12.2013), description, paragraphs [0005], [0028] and [0040]-[0054], and figures 1-12	1-2, 5, 7-11, 13-17
A	CN 105305091 A (FUDAN UNIVERSITY), 03 February 2016 (03.02.2016), the whole document	1-17
A	CN 105006649 A (XIAMEN UNIVERSITY), 28 October 2015 (28.10.2015), the whole document	1-17
A	US 2014210475 A1 (LI, W.M. et al.), 31 July 2014 (31.07.2014), the whole document	1-17

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
07 June 2017 (07.06.2017)

Date of mailing of the international search report
29 June 2017 (29.06.2017)

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
ZHANG, Tao
Telephone No.: (86-10) **62414427**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2017/079576

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 103474775 A	25 December 2013	None	
CN 105305091 A	03 February 2016	None	
CN 105006649 A	28 October 2015	None	
US 2014210475 A1	31 July 2014	CN 103969609 A	06 August 2014
		KR 20140098005 A	07 August 2014

<p>A. 主题的分类</p> <p>H01Q 15/00(2006.01)i; H01Q 15/14(2006.01)i</p> <p>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</p>																	
<p>B. 检索领域</p> <p>检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)</p> <p>H01Q</p> <p>包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献</p> <p>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))</p> <p>WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI, GOOGLE, IEEE: 调节, 电磁波, 材料, 相位, 二极管, 角度, 电容, 频率, 曲线, 阵列, adjust, electromagnetic wave, material, phase, diode, angle, capacitance, frequency, curve, array</p>																	
<p>C. 相关文件</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>类型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>X</td> <td>CN 103474775 A (中国科学院光电技术研究所) 2013年 12月 25日 (2013 - 12 - 25) 说明书第[0005]、[0028]、[0040]-[0054]段, 附图1-12</td> <td>1-2、5、7-11、13-17</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105305091 A (复旦大学) 2016年 2月 3日 (2016 - 02 - 03) 全文</td> <td>1-17</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 105006649 A (厦门大学) 2015年 10月 28日 (2015 - 10 - 28) 全文</td> <td>1-17</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2014210475 A1 (LI, WEN MING 等) 2014年 7月 31日 (2014 - 07 - 31) 全文</td> <td>1-17</td> </tr> </tbody> </table> <p><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。</p> <p>* 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</p>			类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	X	CN 103474775 A (中国科学院光电技术研究所) 2013年 12月 25日 (2013 - 12 - 25) 说明书第[0005]、[0028]、[0040]-[0054]段, 附图1-12	1-2、5、7-11、13-17	A	CN 105305091 A (复旦大学) 2016年 2月 3日 (2016 - 02 - 03) 全文	1-17	A	CN 105006649 A (厦门大学) 2015年 10月 28日 (2015 - 10 - 28) 全文	1-17	A	US 2014210475 A1 (LI, WEN MING 等) 2014年 7月 31日 (2014 - 07 - 31) 全文	1-17
类型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
X	CN 103474775 A (中国科学院光电技术研究所) 2013年 12月 25日 (2013 - 12 - 25) 说明书第[0005]、[0028]、[0040]-[0054]段, 附图1-12	1-2、5、7-11、13-17															
A	CN 105305091 A (复旦大学) 2016年 2月 3日 (2016 - 02 - 03) 全文	1-17															
A	CN 105006649 A (厦门大学) 2015年 10月 28日 (2015 - 10 - 28) 全文	1-17															
A	US 2014210475 A1 (LI, WEN MING 等) 2014年 7月 31日 (2014 - 07 - 31) 全文	1-17															
国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期																
2017年 6月 7日	2017年 6月 29日																
ISA/CN的名称和邮寄地址	授权官员																
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	张涛																
传真号 (86-10)62019451	电话号码 (86-10)62414427																

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2017/079576

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)
CN	103474775	A	2013年 12月 25日	无	
CN	105305091	A	2016年 2月 3日	无	
CN	105006649	A	2015年 10月 28日	无	
US	2014210475	A1	2014年 7月 31日	CN	103969609 A 2014年 8月 6日
				KR	20140098005 A 2014年 8月 7日