

## 基于互补屏的极化分离结构设计研究\*

焦健<sup>1)2)</sup> 高劲松<sup>1)</sup> 徐念喜<sup>1)†</sup> 陈新<sup>1)</sup>

1) (中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 中国科学院光学系统先进制造技术重点实验室, 长春 130033)

2) (中国科学院大学, 北京 100049)

(2013年6月8日收到; 2013年6月19日收到修改稿)

以互补频率选择表面 (CFSS) 结构的强耦合作用为基础, 设计一种具有极化分离作用的频率选择表面 (PSS), 当容性表面与感性表面沿周期排布方向具有横向位移时, CFSS 成为具有 TM 带通、TE 带阻的极化分离结构. 建立等效电路模型分析 PSS 结构极化分离原理, 采用耦合积分方程法计算极化分离结构的传输特性以及容性表面和感性表面的电场分布. 理论分析与实验测试结果均表明: PSS 具有良好的极化分离特性和角度稳定性, 为极化波产生器和极化分离结构的设计提供借鉴.

**关键词:** 频率选择表面, 极化选择, 互补屏频率选择表面

**PACS:** 73.61.-r, 73.90.+f, 42.25.Ja

**DOI:** 10.7498/aps.62.197303

## 1 引言

频率选择表面 (frequency selective surfaces, FSS) 是由周期性排列的金属贴片单元 (带阻型), 或由金属屏上周期性的开孔单元 (带通型) 构成的一种二维周期阵列结构<sup>[1]</sup>. FSS 与电磁波相互作用时表现出明显的滤波特性, 被广泛应用于微波、红外以及可见光波段<sup>[2-4]</sup>. 目前, FSS 大多着重研究频率选通特性, 而对 FSS 极化分离特性的研究较为鲜见, 研究具有极化分离特性的 FSS 对卫星通信系统中极化波产生器和极化分离结构的设计具有重要意义<sup>[5,6]</sup>.

极化分离结构可通过以下几种形式实现: 第一种<sup>[5]</sup>, 利用平行金属带构成具有极化选择特性的滤波结构, 该结构通常为级联型圆极化选择表面的重要组成元件, 当入射电磁波的电场矢量振动方向平行于金属带时, 电磁波被反射, 形成带阻滤波, 当入射电磁波的电场矢量振动方向垂直于金属带时, 形成带通滤波, 因此具有极化选择滤波特性. 第二种<sup>[7]</sup>, 利用电磁局域谐振的“波谐振”理论, 在 Lorentz 谐振区域, 平面周期结构等效介电常数为负

时会出现传输禁带, 构造以金属长线和短线阵列组成的双层或单层 FSS 结构, 当 TE 和 TM 极化波入射时分别形成传输禁带和传输通带, 从而形成基于电磁局域“波谐振”的极化分离结构. 第三种<sup>[8]</sup>, 根据电磁局域谐振的“路谐振”理论, 在“工”字形贴片 FSS 阵列结构内加载集总 LC 器件, 当入射电场为 TE(TM) 极化时, 阵列中所加载的集总 LC 元件处于非工作 (或工作) 状态, 该阵列结构的等效电路为串联 (或并联) LC 电路, 形成 TM 带通、TE 带阻的极化分离结构.

本文在互补屏频率选择表面 (complementary frequency selective surface, CFSS) 强耦合机理的基础上, 通过在容性表面上引入横向位移, 设计了一种截止度较高的极化分离结构. 借助等效电路模型分析其极化选择滤波原理, 采用耦合积分方程法计算极化分离结构模型的传输特性和电场分布, 从理论上证明了该结构具有良好的极化分离特性. 采用 PCB 技术, 制备 400 mm × 400 mm 实验样件, 测试结果表明: 该 PSS 结构具有良好的极化分离特性和角度稳定性. 将 PSS 旋转 90° 可切换其极化选择状态, 即原 TM 带通变为 TM 带阻, 原 TE 带阻变为 TE 带通, 具有可重构特性, 为极化波产生器和极化

\* 长春光机所创新三期工程项目 (批准号: 093Y32J090) 资助的课题.

† 通讯作者. E-mail: xnxlzhy999@126.com

分离结构的设计提供借鉴.

## 2 物理模型建立与理论分析

### 2.1 物理模型的建立

CFSS 是由容性表面与感性表面组成的双屏 FSS 结构, 当容性表面的金属区域与感性表面的非金属区域一致时称为自互补型频率选择表面 (self-complementary frequency selective surface, SCFSS)<sup>[9]</sup>. 容性表面与感性表面的强耦合作用使 CFSS 表现为带通滤波特性. 在此基础上将容性表面沿周期排布方向 (即  $x$  轴方向) 移动半个周期, 即产生横向位移  $D_{sx} = D_x/2$ , 形成具有极化分离特性的滤波结构, 称之为 PSS (polarization selective surface). 将容性表面旋转  $90^\circ$  后, 可形成与之极化分离作用相反的极化滤波结构, 即原 TE 通带变为阻带, 原 TM 阻带变为通带, 具有可重构特性<sup>[10]</sup>. 以圆形互补 FSS 屏为例, 建立如图 1 所示的物理模型.

在 CFSS 结构 (位于  $x$ - $y$  平面) 中, 圆形贴片阵列是容性表面, 其等效电路为 LC 串联电路, 而圆形

孔径阵列是感性表面, 其等效电路为电感电路. 容性表面沿  $x$  方向引入横向位移  $D_{sx}$ , 使它与感性表面交错排布, 即圆贴片与孔径面的垂直金属带有重叠区域, 而与水平金属带无重叠区域, 如图 1 所示. 当 TM 极化波 (电场振动方向平行于  $x$  轴) 垂直入射 PSS 时, 主要在感性面的水平金属带激励出感应电流<sup>[11]</sup>, 由于水平金属带与圆贴片无金属重叠区域, 此时两互补面间的耦合作用较弱, 可以忽略, 即 TM 极化波入射时, 该 PSS 的等效电路为 LC 串联电路与电感并联, 如图 2(a) 所示. 当 TE 极化波 (电场振动方向平行于  $y$  轴) 垂直入射 PSS 时, 主要在感性面的垂直金属带激励出感应电流, 在金属重叠区域两互补阵列间的耦合作用较强, 不能忽略, 而水平金属带与圆贴片的耦合作用较弱可以忽略, 因此与 TM 极化波入射时相比, TE 极化波入射时两并联电路间存在较强的互感, 如图 2(b) 所示. 其中  $L_1, L_2$  分别为水平和垂直金属带的等效电感,  $L$  和  $C$  为容性表面的等效电感和电容,  $K$  为两互补阵列间的互感.

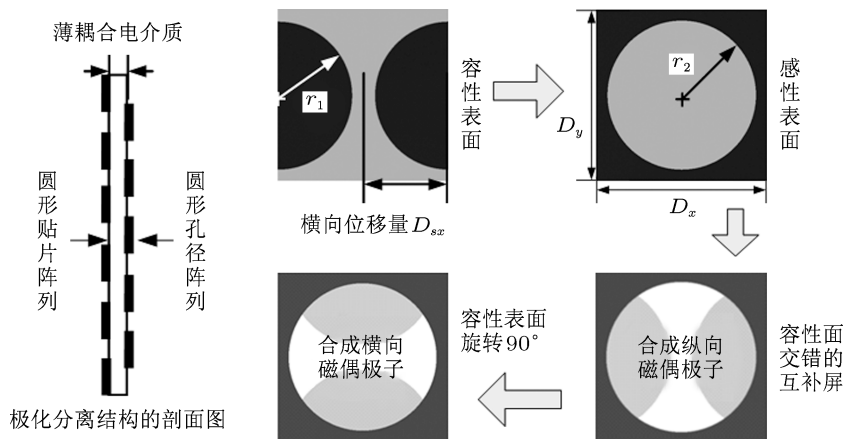


图 1 PSS 的结构示意图 (黑色为金属区域)

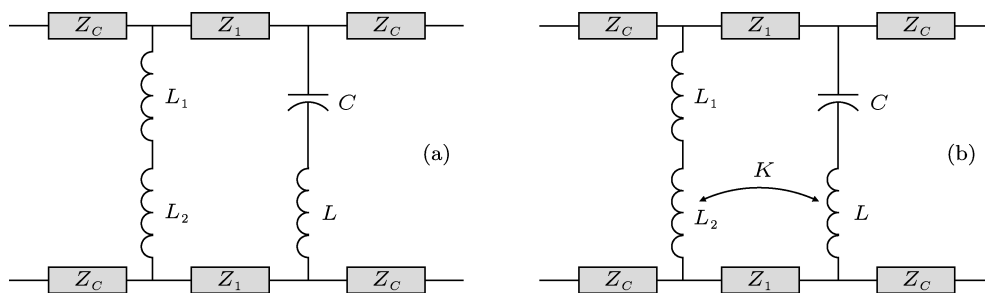


图 2 PSS 的等效电路 (a) TM 极化波入射时, PSS 的等效电路模型; (b) TE 极化波入射时, PSS 的等效电路模型

耦合电介质厚度小, 可将  $Z_1$  忽略<sup>[12]</sup>. 因此, 当 TM 极化波入射时, PSS 的阻抗为

$$Z = \frac{j\omega(L_1 + L_2) \left( \frac{1}{j\omega C} + j\omega L \right)}{\frac{1}{j\omega C} + j\omega L + j\omega L_1 + j\omega L_2}, \quad (1)$$

TM 极化波的峰值频点为

$$\omega_{\text{TM-peak}} = \frac{1}{\sqrt{C(L + L_1 + L_2)}}, \quad (2)$$

当 TE 极化波入射时, PSS 的阻抗为

$$Z = \frac{j\omega(L_1 + L'_2) \left( \frac{1}{j\omega C} + j\omega L' \right)}{\frac{1}{j\omega C} + j\omega L' + j\omega L_1 + j\omega L'_2} + j\omega K, \quad (3)$$

TE 极化波的零值频点为

$$\omega_{\text{TE-null}} = \frac{1}{\sqrt{C \left( L - \frac{K^2}{L_1 + L_2} \right)}}, \quad (4)$$

其中,  $L' = L - K$ ,  $L'_2 = L_2 - K$ . 因此通过调节  $K$  值使 TM 极化波的峰值频点和 TE 极化波的零值频点重合, 即  $\omega_{\text{TM-peak}} = \omega_{\text{TE-null}}$  时, PSS 具有最佳的极化选择特性.

## 2.2 理论分析

图 1 所示的极化分离结构属于一种近距离耦合互补屏, 在处理近距离阵列时, 由于目前很多分析方法 (例如广义散射矩阵法以及多端口电路技术

等) 所需矩阵过大而受限制<sup>[13]</sup>, 因此, 本文选用耦合积分方程方法, 该方法从耦合本质出发, 基于高阶本征模式相互作用 (即凋落模耦合) 建立方程组, 并采用矩量法求解方程组, 求解过程中可避免矩阵过大, 降低对计算条件的要求<sup>[14]</sup>. 计算过程中, 首先, 假设该 FSS 平面向无穷大, 金属表面为无限薄理想导体, 入射平面波以任意角度入射<sup>[15]</sup>. 然后, 建立如图 3 所示的数理原理示意图.

当电场振动矢量方向  $\mathbf{E}$  沿  $x$  轴即 TM 极化波照射到极化分离结构上时, 根据 Floquet 定理, 将自由空间和介质区域的横向电场和横向磁场用正交矢量 Floquet 模式展开, 用  $p, q$  表示 Floquet 模式因子, 用  $m = 1, 2$  表示 TE, TM 模式, 在各边界面处  $l = 1, 2$  ( $z = 0$  或  $z = 0.1$ ) 利用标准电磁场边界条件得到一系列矢量模式积分方程组, 通常各积分方程均以 Floquet 模式以及二元格林函数谱域展开  $G$  与表面电流谱域展开  $J'$  乘积的形式表示.

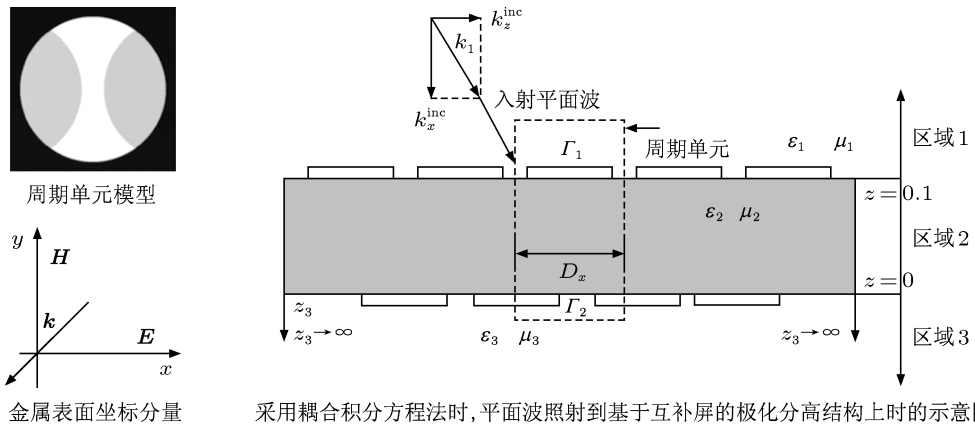
$$E_l^{\text{inc}} = \sum_{pq} \left\{ \sum_{r'=1}^M G_l^{r'} J'^{r'} \right\}_{pq}, \quad l = 1, 2, \quad (5)$$

当横向电场振幅为  $T_m^{\text{inc}}$  的电磁波照射该频率选择表面时,

$$E_l^{\text{inc}} = 2 \sum_{m=1}^2 \left( \prod_{i=1}^{3l-1} \tau_i \right) \eta_{m00}^1 T_m^{\text{inc}} \psi_{00} K_{m00}, \quad (6)$$

其中,  $\eta$  和  $\tau$  分别为介质导纳和模式反射系数, (5) 式是含有阵列间凋落模耦合因子的矩阵. 将介质考虑在内后谱域格林函数为

$$G_l^{r'} = \frac{1}{(k_{tx})^2 + (k_{ty})^2} \times \begin{bmatrix} \xi_l^{1,r'}(k_{tx})^2 + \xi_l^{2,r'}(k_{ty})^2 & -k_{tx}k_{ty}(\xi_l^{2,r'} - \xi_l^{1,r'}) \\ -k_{tx}k_{ty}(\xi_l^{2,r'} - \xi_l^{1,r'}) & \xi_l^{2,r'}(k_{tx})^2 + \xi_l^{1,r'}(k_{ty})^2 \end{bmatrix}, \quad (7)$$



采用耦合积分方程法时, 平面波照射到基于互补屏的极化分离结构上的示意图

图 3 采用耦合积分方程法分析极化分量结构的数理原理示意图

其中  $\xi$  是与夹层介质及两层互补屏分开距离相关的参量. 利用矩量法, 将未知电流用全域基函数展开, (5) 式化简为矩阵形式, 求解得到透射电场

$$E^+(r, z) = \left( E_2^{\text{inc}} - \sum_{r'=1}^2 G_2^{r'} J^{r'} \right) \tau e^{+j\beta_{pq} z} \psi_{00}(r). \quad (8)$$

至此, 透射系数  $t$  通过 (5) 和 (8) 式联立求得.

依据 Munk 对该参量的描述,  $\xi$  可表示为

$$\begin{aligned} \xi_l^{1,r'}(k_{lx})^2 + \xi_l^{2,r'}(k_{ly})^2 &= \xi_{\text{Ore}} + j\xi_{y1}, \\ \xi_l^{2,r'} - \xi_l^{1,r'} &= j|\xi_l^{2,r'} - \xi_l^{1,r'}| = j\xi_{y2}. \end{aligned} \quad (9)$$

根据 (9) 式, 我们构建传输系数为 1 时的评价函数为

$$\xi_{y1} = \xi_{\text{Ore}} \sqrt{\left( \frac{|\xi_l^{2,r'} - \xi_l^{1,r'}|}{\xi_{\text{Ore}}} \right)^2 - 1}. \quad (10)$$

当  $|\xi_l^{2,r'} - \xi_l^{1,r'}| = \xi_{\text{Ore}}$  时, 导纳虚部为零, FSS 结构谐振 [15].

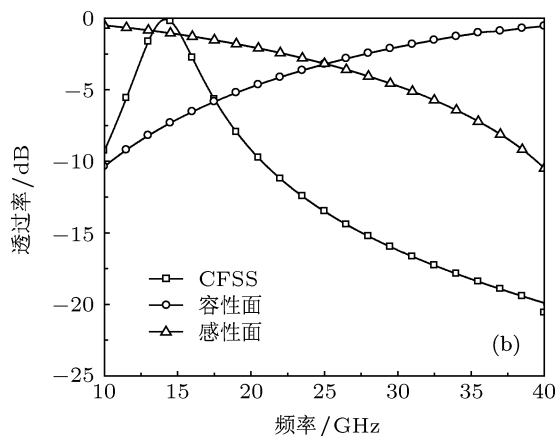
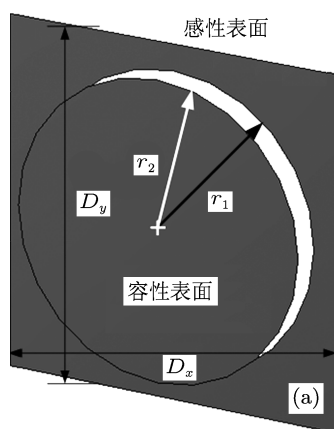


图 4 圆形 CFSS 计算模型 (a) 及其传输特性曲线 (b)

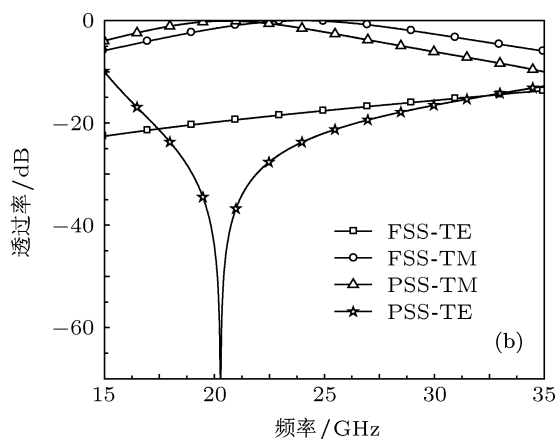
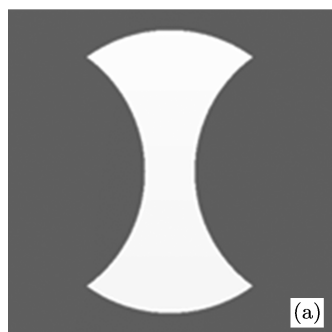


图 5 (a) 磁偶极子模型; (b) 与两种极化分离结构传输特性对比

### 2.3 极化分离结构的工作机理

PSS 以 CFSS 结构为基础, 其目的是实现“磁偶极子”型的极化分离功能, 图 4 给出了 CFSS 的周期单元模型和频率响应特性曲线. 其中,  $D_x = D_y = 6 \text{ mm}$ , 圆形贴片和孔径的半径  $r_1 = r_2 = 2.55 \text{ mm}$ , 薄介质层厚度为  $0.1 \text{ mm}$ , 相对介电常数为 3, 正切损耗忽略不计.

由图 4 中的传输特性曲线可知, 基于容性表面与感性表面之间的强耦合机理, CFSS 表现为带通传输特性. 当容性表面的每个周期单元沿  $x$  方向的横向位移量  $D_{sx} = D_x/2$  时, 将形成磁偶极子型的极化分离结构. 图 5 给出了磁偶极子的计算模型以及与 PSS 传输特性对比.

由图 5 可知, 在 15—35 GHz 范围内, 基于互补屏设计的极化分离结构 (PSS), 其耦合机理形成的零值深点使该极化分离结构具有高截止度的 TM 带通和 TE 带阻, 与磁偶极子型极化分离结构 (FSS) 相比, 阻带的截止深度增加. 受耦合作用影响, PSS 结构的 TM 峰值频点向低频方向发生少量漂移.

当容性表面横向位移量  $D_{sx} = D_x/2$  时, 容性表面与感性表面的电场分布如图 6 所示.

由图 6 可知, 当入射平面波照射到 PSS 屏时, 垂直于缝隙单元方向的电场分量对电子产生作用力使其振荡. 电子吸收入射波能量的同时也在向外辐射能量. 当达到谐振频点时, 存在  $|\xi_l^{2,r} - \xi_l^{1,r}| = \xi_{Ore}$  即导纳虚部为零, 运动的电子透过缝隙向透射方向辐射电场能量最大, 形成 TM 谐振峰值. 反之, 平行于缝隙单元方向的电场分量对电子并不产生作用力, 形成与 TM 极化峰值频点对应的 TE 极化的零值深点.

### 3 影响 PSS 传输特性因素分析

影响 PSS 传输特性的因素主要包括容性表面横向位移量  $D_{sx}$ , 圆形贴片半径  $r_2$  和圆形孔径半径  $r_1$ , 及耦合电介质的电参数包括相对介电常数和厚度 (一般  $\tan\delta$  选取  $10^{-3}$  量级, 可忽略介质损耗), 本文主要研究横向位移  $D_{sx} = D_x/2$  时, 圆半径

$r = r_1 = r_2$ , 耦合电介质以及平面波入射角度对 PSS 传输特性的影响.

#### 3.1 圆半径 $r$ 对 PSS 传输特性的影响

当横向位移  $D_{sx} = D_x/2$  时, 其他结构参数 (周期和耦合电介质参数) 与 2.3 节保持一致, 改变圆半径  $r$  分别为 2.70 mm, 2.55 mm, 2.00 mm, 1.50 mm, TE 和 TM 极化波垂直入射时, PSS 的传输特性如图 7(a) 和 (b) 所示. 随着圆半径  $r$  的增加, TE 极化波的传输零点频率  $f_{TE-null}$  向低频漂移, 阻带的  $-20$  dB 带宽增加, TM 极化波的传输峰值频点  $f_{TM-peak}$  也向低频漂移, 这表明  $r$  增加导致两互补阵列间的耦合作用增强. 但是  $r$  过大 (2.77 mm) 或过小 (2.00 mm, 1.50 mm), 即耦合作用过强或过弱都会破坏  $f_{TE-null} = f_{TM-peak}$  条件, 影响极化分离特性. 且当  $r = 1.5$  mm 时, TM 谐振峰值消失, 极化分离特性消失.

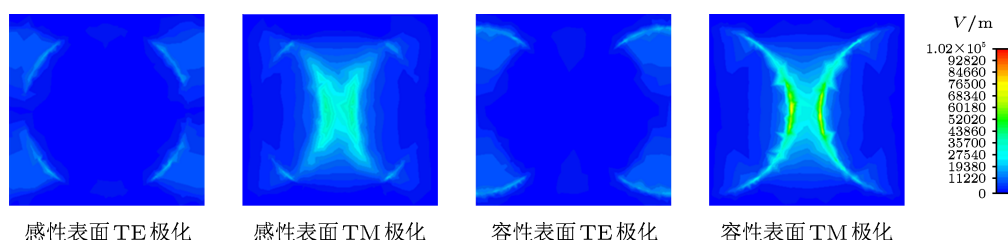


图 6 容性表面与感性表面电场分布图

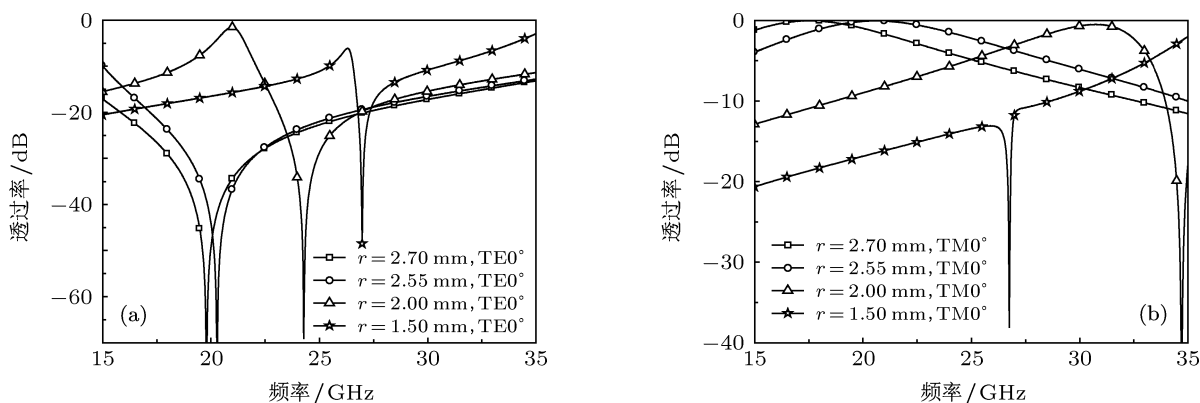


图 7  $r$  对 PSS 传输特性的影响 (a) TE 极化波垂直入射; (b) TM 极化波垂直入射

#### 3.2 入射角度对传输特性的影响

选取 PSS 各结构参数与 2.3 节保持一致, TE 极化和 TM 极化平面电磁波分别以不同角度照射该 PSS 时, 其传输特性曲线如图 8(a) 和 (b) 所示. 由图 8 可知,  $0^\circ - 60^\circ$  扫描时, PSS 具有良好的角度稳

定性. 随着入射角度的增加, TE 极化波的零值频点  $f_{TE-null}$  略向低频漂移, 而 TM 极化波的峰值频点稳定在  $f_{TM-peak} = 20.5$  GHz 附近, 但当入射角度增加  $60^\circ$  时, 高频处出现栅瓣, 由于其远离工作频点, 因此不会干扰 PSS 的极化选择滤波特性.

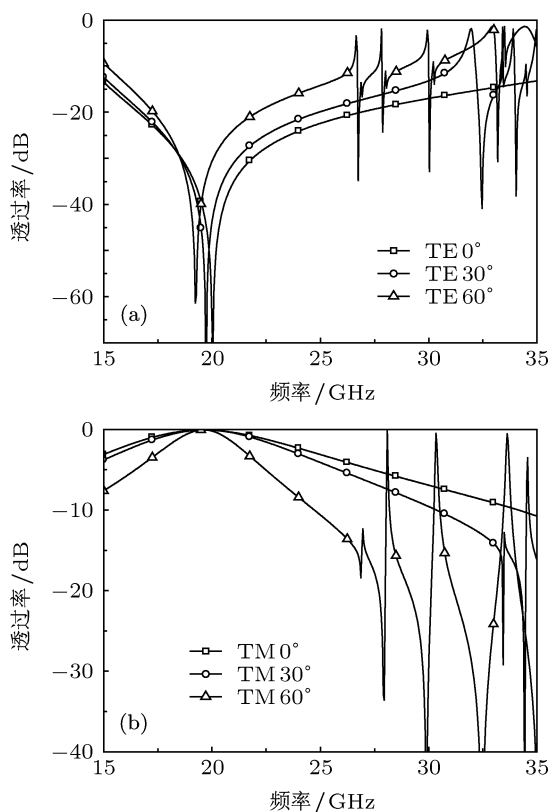


图 8 入射角度对 PSS 传输特性的影响 (a) TE 极化波入射; (b) TM 极化波入射

### 3.3 耦合电介质对传输特性的影响

首先, 固定耦合电介质的相对介电常数为 3, 改变介质厚度  $d$  分别为 0.1 mm, 0.3 mm, 0.5 mm, 和 1.0 mm, 其他结构参数与 2.3 节保持一致, 研究介质厚度对 PSS 传输特性的影响, 仿真结果如图 9(a) 和 (b) 所示. 然后固定耦合电介质厚度为 0.1 mm, 改变相对介电常数  $\epsilon$  分别为 2, 3, 和 5, 其他结构参数同 2.3 节, PSS 的传输特性曲线如图 10(a) 和 (b) 所示.

PSS 结构以近距离耦合互补屏为基础, 因此增加耦合电介质厚度会减弱两互补屏间的耦合作用, 此时最突出的特征为峰值频点处插入损耗增加, 而增加耦合电介质的相对介电常数会增强两互补屏的耦合作用. 同时, 介质厚度增加会导致谐振频点向低频漂移. 由图 9(a) 和 (b) 可知, 随着耦合电介质厚度的增加, TE 极化波的零值频点  $f_{TE-null}$  向高频漂移 (耦合调制), TM 极化波的峰值频点  $f_{TM-peak}$  向低频漂移 (谐振调制), 当耦合介质厚度增加到 1.0 mm 时, TE 和 TM 极化波具有相似的传输特性, PSS 已不具备极化选择滤波特性. 由图 10(a) 和 (b) 可知, 随着相对介电常数的增加, 耦合作用增强导致 TE 极化波的零值频点  $f_{TE-null}$  向低频漂移, TM

极化波的峰值频点  $f_{TM-peak}$  向低频漂移.

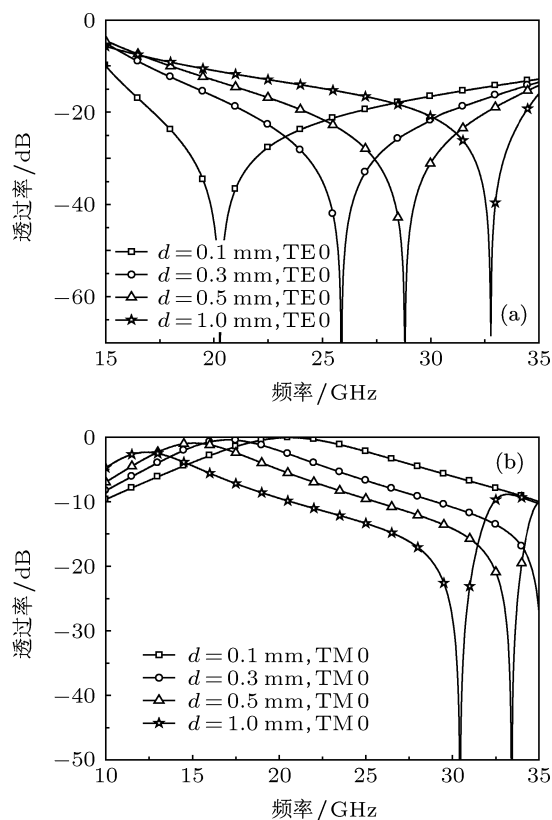


图 9  $d$  对 PSS 传输特性的影响 (a) TE 极化波垂直入射; (b) TM 极化波垂直入射

### 4 实验验证

利用 PCB 技术在聚酰亚胺基底上制备圆形孔径阵列和圆形贴片阵列, 聚酰亚胺厚度为 0.0254 mm, 介电常数为 3, 损耗正切为 0.005. 将两互补阵列置于 EVA 介质两侧, 同时保证两周期阵列单元对准精度. EVA 介质厚度为 0.045 mm, 介电常数为 2.45, 损耗正切为 0.005, 制备 400 mm × 400 mm 的 PSS 样件如图 11(b) 所示, 其结构参数为:  $r = 4.1$  mm,  $D_x = D_y = 9$  mm,  $D_{sx} = 4.5$  mm. 采用自由空间法在微波暗室中对 PSS 样件进行传输特性测试, 测试设备包括矢量网络分析仪、喇叭天线和转台等, 测试条件如图 11(a) 所示, 测试频段为 8—19 GHz, 入射电磁波为 TE 极化波和 TM 极化波, 入射角度分别为 0°, 45° 和 60°. PSS 样件测试结果如图 12 所示, 其中图 12(a) 是 TE 和 TM 极化波垂直入射时, PSS 传输特性的测试和仿真结果的对比, 在考虑两互补阵列对准精度前提下, 理论计算与实验测量的结果基本一致, PSS 具有极化选择特性且其 -20 dB 测试带宽为 8 GHz,

图 12(b) 是 TE 和 TM 极化波分别以  $0^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  入射时, PSS 传输特性的测试结果, 该 PSS 具有良好的角度稳定性, 且在测试频段范围内未出现栅瓣干扰.

实验结果表明该 PSS 结构具有良好的极化选择特性和角度稳定性, 为设计具有线极化选择特性的 FSS 提供新的设计思路.

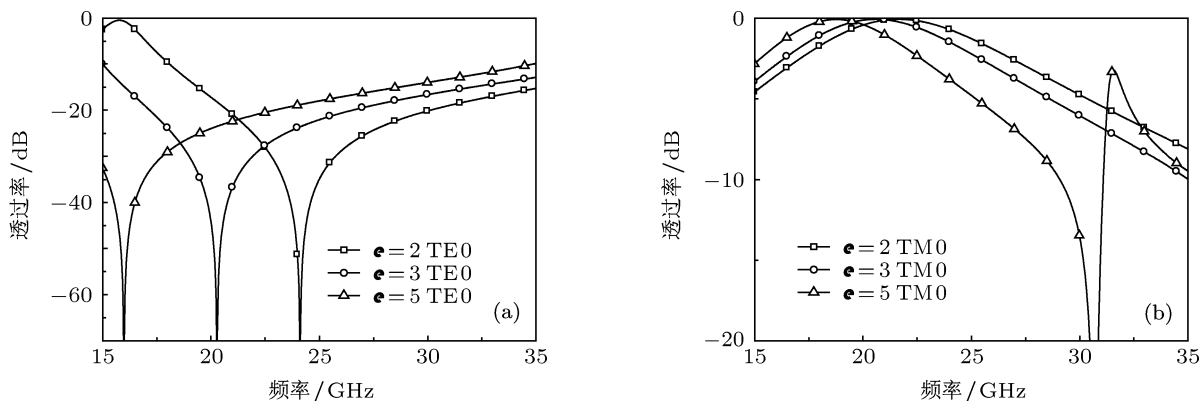


图 10  $\epsilon$  对 PSS 传输特性的影响 (a) TE 极化波垂直入射; (b) TM 极化波垂直入射

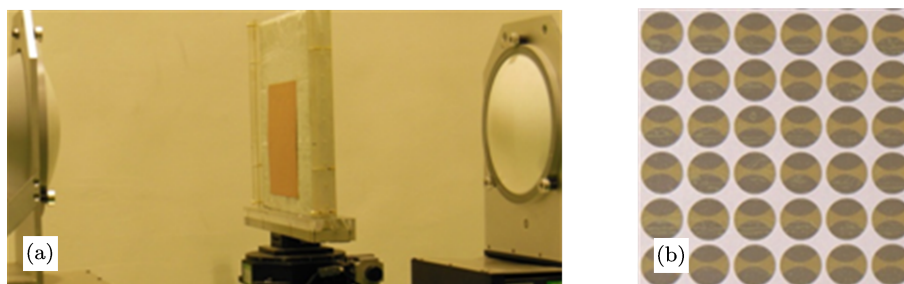


图 11 测试系统与 PSS 实验样件 (a) 自由空间法测试系统; (b) PSS 实验样件

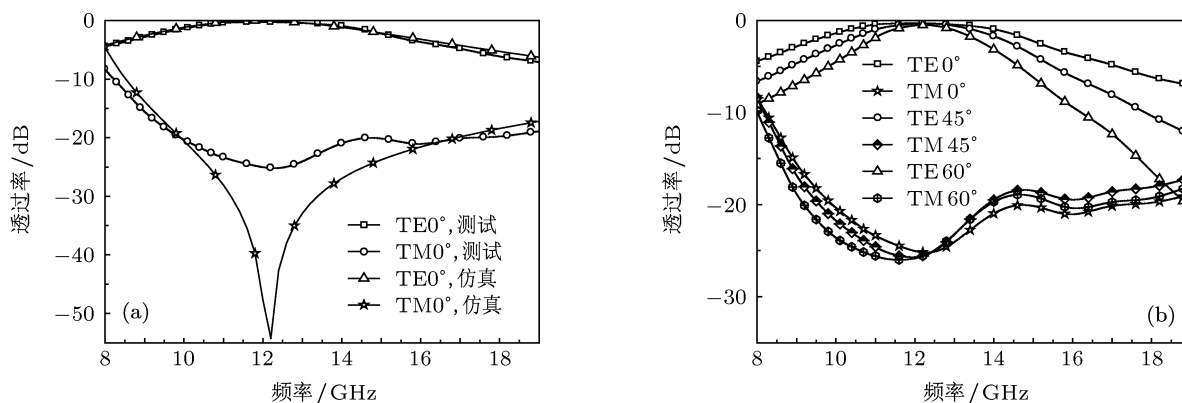


图 12 (a) TE 和 TM 极化波垂直入射时, PSS 传输特性的测试和仿真结果; (b) TE 和 TM 极化波分别以  $0^\circ, 45^\circ, 60^\circ$  入射时, PSS 传输特性的测试结果

### 5 结论

本文以近距离耦合 CFSS 结构为基础, 使容性表面相对感性表面具有半个周期的横向位移, 设计了具有极化分离作用的频率选择表面. 基于耦合积分方程法分析 PSS 传输特性, 通过研究容性表面与感性表面的电场分布以及建立 PSS 的等效电路, 分

析 PSS 极化分离的物理机理. 数值计算与实验测试均表明: 该 PSS 具有 TM 带通、TE 带阻的极化分离滤波特性, 且该 PSS 的极化滤波具有良好的角度稳定性. 将 PSS 旋转  $90^\circ$  可实现极化滤波状态的切换, 即具有同一工作频点下的 TM 极化带阻、TE 极化带通的极化分离滤波特性.

- [1] Jia H Y, Gao J S, Feng X G, Sun L C 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 0505 (in Chinese) [贾宏燕, 高劲松, 冯晓国, 孙连春 2009 物理学报 **58** 0505]
- [2] Fang C Y, Zhang S R, Lu J, Wang J B, Sun L C 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 5023 (in Chinese) [方春易, 张树仁, 卢俊, 王剑波, 孙连春 2010 物理学报 **59** 5023]
- [3] Moallem M, Sarabandi K 2012 *Trans. Terahertz Science Tech.* **2** 333
- [4] Xu N X, Feng X G, Wang Y S, Chen X, Gao J S 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 114102 (in Chinese) [徐念喜, 冯晓国, 王岩松, 陈新, 高劲松 2011 物理学报 **60** 114102]
- [5] Joyal M A, Laurin J J 2011 *IEEE Proceedings of the International Symposium on Antennas and Propagation* Washington, U.S.A July 3–8 2011 p2657
- [6] Sanz-Fernandez J, Saenz E, de Maagt P, Manganot C 2012 *Proceedings of the 6th European Conference on Antennas and Propagation* Prague, Czech Republic, March 26–30, 2012 p2683
- [7] Wu X, Pei Z B, Qu S B, Xu Z, Bo P, Wang J F, Wang X H, Zhou H 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 114201 (in Chinese) [吴翔, 裴志斌, 屈绍波, 徐卓, 柏鹏, 王甲富, 王新华, 周航 2011 物理学报 **60** 114201]
- [8] Wang X Z, Gao J S, Xu N X 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 147307 (in Chinese) [王秀芝, 高劲松, 徐念喜 2013 物理学报 **62** 147307]
- [9] Lockyer D S, Vardaxoglou J C, Simpkin R A 2000 *IEE proc. Microw. Antennas Propag.* **147** 501
- [10] Oritz J D, Baena J D, Marqués R, Modina F 2011 *IEEE Proceedings of the International Symposium on Antennas and Propagation* Washington, U.S.A July 3–8 2011 p2669
- [11] Bayarpur F, Sarabandi K 2008 *IEEE Trans. Microw. Theory Tech.* **56** 774
- [12] Hu X D, Zhou X L, Wu S, Zhou L, Yin W Y 2009 *IEEE Antennas and Wireless Propag. Lett.* **8** 1374
- [13] Orta R, Tascone R, Zich R 1988 *Proc. Inst. Elect. Eng. Microwave Antennas Propagat. Ser. H* **135** 75
- [14] Feresidis A P, Apostolopoulos G, Serfas N, Vardaxogou J C 2004 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **52** 1154
- [15] Munk B A 2000 *Frequency Selective Surfaces: Theory and Design* (New York: Wiley)

## Design and study of the polarization selective surface based on the complementary screens\*

Jiao Jian<sup>1)2)</sup> Gao Jin-Song<sup>1)</sup> Xu Nian-Xi<sup>1)†</sup> Chen Xin<sup>1)</sup>

1) (Key Laboratory of Optical System Advanced Manufacturing Technology, Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

2) (University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

(Received 8 June 2013; revised manuscript received 19 June 2013)

### Abstract

Based on the strong coupling of the complementary frequency selective surface (CFSS), a frequency selective surface with polarization selective performance is presented. When there is lateral displacement along the periodic arrangement direction between the capacitive surface and the inductive surface, the CFSS becomes the polarization selective surface (PSS) with TM pass-band and TE stop-band filtering characteristics. The equivalent circuit model of the PSS is used to analyze its polarization selective mechanism. Its frequency responses and the electric field distribution on the capacitive and inductive surfaces have been simulated by the coupled integral equation method. The simulated and experimental results show that the PSS has good polarization selectivity, and it provides reference for the design of polarization wave generator and polarization filter.

**Keywords:** frequency selective surface, polarization selective characteristics, complementary frequency selective surface

**PACS:** 73.61.-r, 73.90.+f, 42.25.Ja

**DOI:** 10.7498/aps.62.197303

\* Project supported by CIOMP the Third Innovation Program, China (Grant No. 093Y32J090).

† Corresponding author. E-mail: xnxlzhy999@126.com