



基于超表面的旋向选择吸波体

王朝辉 李勇祥 朱帅

Absorbers with spin-selection based on metasurface

Wang Chao-Hui Li Yong-Xiang Zhu Shuai

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 69, 234103 (2020) DOI: 10.7498/aps.69.20200511

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.7498/aps.69.20200511>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于石墨烯的太赫兹波散射可调谐超表面

Graphene based tunable metasurface for terahertz scattering manipulation

物理学报. 2017, 66(20): 204101 <https://doi.org/10.7498/aps.66.204101>

基于超表面的Tamm等离子激元与激子的强耦合作用

Strong coupling between metasurface based Tamm plasmon microcavity and exciton

物理学报. 2020, 69(1): 010201 <https://doi.org/10.7498/aps.69.20191225>

基于反射超表面产生太赫兹涡旋波束

Terahertz vortex beam generation based on reflective metasurface

物理学报. 2019, 68(23): 238101 <https://doi.org/10.7498/aps.68.20191055>

基于可调石墨烯超表面的宽角度动态波束控制

Dynamic beam-steering in wide angle range based on tunable graphene metasurface

物理学报. 2018, 67(18): 184101 <https://doi.org/10.7498/aps.67.20180592>

基于双开口谐振环超表面的宽带太赫兹涡旋光束产生

Broadband terahertz vortex beam generation based on metasurface of double-split resonant rings

物理学报. 2019, 68(10): 108701 <https://doi.org/10.7498/aps.68.20182147>

基于单层线-圆极化转换聚焦超表面的宽带高增益圆极化天线设计

Broadband circularly polarized high-gain antenna design based on linear-to-circular polarization conversion focusing metasurface

物理学报. 2017, 66(6): 064102 <https://doi.org/10.7498/aps.66.064102>

基于超表面的旋向选择吸波体*

王朝辉 李勇祥 朱帅†

(空军工程大学防空反导学院, 西安 710051)

(2020年4月7日收到; 2020年7月11日收到修改稿)

近年来, 基于超表面的完美吸波体成为了各国学者的研究热点. 其中圆极化波的旋向选择吸波体更是在手性传感器和卫星通讯等领域有着广泛的应用. 为此, 本文提出了一种基于方形开口环结构超表面的圆极化波的旋向选择吸波体. 该吸波器能够吸收入射的右旋圆极化波, 而完全反射左旋圆极化波. 首先从理论上分析产生旋向选择吸波的理论条件, 然后在该理论的指导下设计出了符合条件的超表面单元. 该单元由金属-介质板-金属三层构成, 顶层是改进后的方形开口环金属结构, 中间层是FR4介质板, 底层是全金属板. 对超表面单元进行数值仿真, 仿真结果表明, 该单元在7.2 GHz处可以选择性吸收右旋圆极化波而反射左旋圆极化波, 并且保持圆极化波的旋向不改变. 右旋圆极化波的吸波率达到了90%以上, 而左旋圆极化波的吸波率低于19%. 该方法不仅适用于微波段, 而且可以被推广到更高频段, 有望在卫星通讯领域得到广泛应用.

关键词: 超表面, 吸波体, 旋向选择

PACS: 41.20.Jb, 73.20.Mf

DOI: 10.7498/aps.69.20200511

1 引言

完美吸波体是一种可以完全吸收入射电磁波的设备. 由于强大的吸波性能, 吸波体在发射器、传感器和隐身^[1]等领域得到了广泛的应用. 传统的吸波体由自然材料组成, 如楔形吸波体和铁氧体^[2,3]. 然而, 这种类型的吸波体有着体密度大、入射角度敏感和加工难度大的缺点, 严重限制了其在实际中的应用.

近年来, 由亚波长人工结构周期排列组成的二维平面超表面成为研究热点, 因其具备强大的电磁操控能力和低剖面的优点. 具有各种功能的超表面陆续被提出^[4-9], 如极化转换超表面^[5]、涡旋波束产生超表面^[6-8]、散射增强超表面^[9]和反射聚焦超表面^[10]等. 更重要的是, 自从第一个表现出优异性能的超表面吸波体被证明之后^[11], 超表面在吸波领域的应用也受到了广泛关注. 目前, 基于超表面的吸波研究已经取得可观的进展, 各种性能的超

表面吸波体被设计出来^[12-21]. 2017年, Cui课题组^[17]运用透明的钢锡氧化物 (indium-tin-oxide, ITO) 电阻薄膜实现了一个可以在8—18 GHz频段内吸收率达到90%的宽带吸波体. Zhou等^[18]将吸波和极化转换功能整合在单一超表面上实现了多功能超表面. 随着超表面吸波体的深入研究, Li等^[19]通过构造旋转的“L”形金属线结构单元, 设计和验证了一个可以工作在8.72 GHz下的手性依赖超表面吸波体. 随后, 在THz频段内相似的结构也被验证^[20]. Shang等^[21]通过在圆形开口环加载电容, 设计出一个可以实现右旋圆极化波 (right-handed circularly polarized waves, RCP) 完全吸收而左旋圆极化波 (left-handed circularly polarized waves, LCP) 完全反射的旋向选择吸波器. 然而, 这些旋向选择的手性吸波结构要么是通过在介质板打孔, 要么是通过加载电子元件来实现, 这不仅增加了加工的难度, 而且不易于应用在更高频段 (THz, IR 和光波段).

鉴于以上问题, 本文提出了一种基于超表面的

* 国家自然科学基金 (批准号: 51675530) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: zhushuai111995@163.com

旋向选择吸波体, 该吸波体不仅可以完全吸收入射的 RCP 波, 完全反射 LCP 波, 而且反射波的旋向保持不变. 仿真结果也进一步证明了该吸波体高效的旋向选择吸波性能. 圆极化波的旋向选择吸波体更是在手性传感器和卫星通讯等领域有着广泛的应用. 该设计方法简单易构, 不需要复杂的负载元件, 不仅适用于微波段, 而且可以很容易应用到更高频段.

2 理论分析

根据文献 [12] 所述的旋向选择吸波理论, 当圆极化波垂直入射时, 反射矩阵 \mathbf{R} 连接入射场和反射场, 如 (1) 式所示:

$$\begin{pmatrix} E_r^+ \\ E_r^- \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{++} & r_{+-} \\ r_{-+} & r_{--} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} E_i^+ \\ E_i^- \end{pmatrix} = \mathbf{R}_{\text{circ}} \begin{pmatrix} E_i^+ \\ E_i^- \end{pmatrix}, \quad (1)$$

其中, E_r 和 E_i 代表 LCP(-) 和 RCP(+) 的反射场和入射场. “+”和“-”分别表示从+z 方向观察时顺时针旋向圆极化波和逆时针旋向圆极化波. \mathbf{R}_{circ} 代表着圆极化波的反射矩阵, 该矩阵可以被线极化波的反射系数所表示:

$$\mathbf{R}_{\text{circ}} = \begin{pmatrix} r_{++} & r_{+-} \\ r_{-+} & r_{--} \end{pmatrix} = \frac{1}{2} \times \begin{pmatrix} r_{xx} + r_{yy} + i(r_{xy} - r_{yx}) & r_{xx} - r_{yy} - i(r_{xy} + r_{yx}) \\ r_{xx} - r_{yy} + i(r_{xy} + r_{yx}) & r_{xx} + r_{yy} - i(r_{xy} - r_{yx}) \end{pmatrix}. \quad (2)$$

(2) 式中下标 “x” 和 “y” 分别代表着 x 和 y 极化波. 由于透射光和反射光的波矢量方向是相反的, 所以相比于透射, 每一个反射系数都有不同的物理含义. 例如, r_{++} 和 r_{-+} 分别表示 RCP 入射光的交叉和共极化反射系数. 假设入射波沿+z 传播, 则可将反射系数定义为 $r_{\text{LR}} = r_{++}$, $r_{\text{RR}} = r_{-+}$, $r_{\text{LL}} = r_{+-}$, $r_{\text{RL}} = r_{--}$.

假设 RCP 波被完全吸收, 而 LCP 波被完全反射, 且旋向保持不变, 那么反射系数应该满足以下情况: $r_{++} = r_{-+} = r_{--} = 0$, $|r_{+-}| = 1$.

此时, 满足该种情况的惟一解是:

$$\begin{pmatrix} r_{xx} & r_{xy} \\ r_{yx} & r_{yy} \end{pmatrix} = \frac{e^{i\alpha}}{2} \begin{pmatrix} 1 & i \\ i & -1 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

其中 α 是任意相移.

本文讨论了旋转对称和镜像对称两种情况下满足旋向选择吸波的条件. 通常情况下, 旋转对称结构满足以下条件 [12]:

$$\sin(\varphi) \begin{pmatrix} r_{xy} + r_{yx} & r_{yy} - r_{xx} \\ r_{yy} - r_{xx} & -r_{xy} - r_{yx} \end{pmatrix} = 0, \quad (4)$$

其中 φ 代表着单元绕 z 轴旋转一圈下来, 出现旋转后的结构与原始结构重合时的旋转角. 为了同时满足方程 (3) 和 (4), 仅 $\varphi = m\pi$ ($m = 0, \pm 1, \dots$) 的旋转对称结构满足要求. 因为满足该要求的旋转对称结构旋转一圈下来, 只有两种情况会使旋转后的结构与原结构重合, 所以仅仅 2 重旋转对称结构才能够实现预期的旋向吸波性能.

然而, 镜像对称结构满足的条件为 [12]

$$\sin(2\varphi)(r_{xx} - r_{yy}) + 2\cos(2\varphi)r_{xy} = 0. \quad (5)$$

根据 (3) 式可知, $(r_{xx} - r_{yy})/r_{xy}$ 的比值为一个纯虚数, 所以 (5) 式描述的镜像对称条件永远不可能被满足. 因此, 旋向选择吸波体不可能存在于镜像对称的结构当中.

经过以上的理论分析可得出实现旋向选择吸波的条件为: 结构必须同时打破 n 重 ($n > 2$) 旋转对称和镜像对称.

3 单元设计

根据以上理论分析的结论, 为打破 n 重 ($n > 2$) 旋转对称和镜像对称, 本文在原始开口环的基础上 (如图 1(a) 和图 1(b)) 提出了一个改进的方形开口环结构, 如图 1(c), (d) 所示. 该超表面单元由三

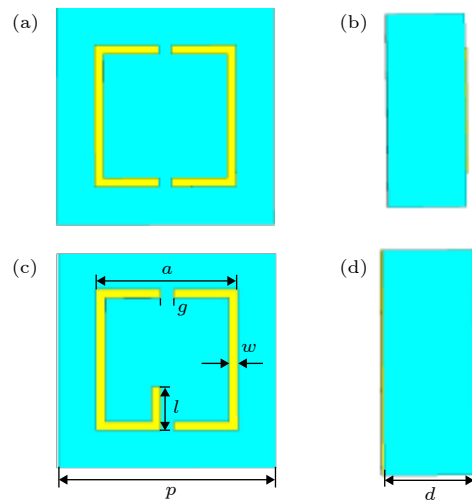


图 1 单元结构示意图 (a), (c) 顶视图; (b), (d) 侧视图
Fig. 1. Schematic of the unit cell: (a), (c) Top view; (b), (d) side view.

层结构组成, 顶层是厚度为 0.105 mm 的金属结构, 中间层是 FR4 介质板, 介电常数为 4.2, 电正切损耗为 0.025, 最底层为金属背板, 用来反射入射的电磁波. 该超表面工作在反射体系下, 优化后的结构参数为: $p = 10$ mm, $a = 6.5$ mm, $g = 0.6$ mm, $w = 0.4$ mm, $l = 2$ mm, $d = 4$ mm. 整个超表面单元的总厚度为 4.105 mm.

4 单元的仿真和实验验证

采用 CST MICROWAVE STUDIO (2018) 软件对单元的反射系数进行仿真. 仿真的边界条件设置如图 2(a) 所示. 在 x 和 y 方向采用 unit cell 边界条件, 由于单元工作于反射体系下, 所以在 Z_{\min} 方向采用 electric($E_t = 0$) 边界条件, 而 Z_{\max} 方向采用 open(add space) 边界. 整个仿真采用圆极化波进行激励, 仿真结果如图 2(b) 所示. 原始单元的边界条件和仿真结果如图 2(c) 和图 2(d) 所示.

从仿真结果可以看出, 原始的结构并不能产生理想的旋向选择吸波. 改进后的单元在 7.2 GHz 处, LCP 波的反射幅度 (r_{+-}) 在 0.9 以上, 而 RCP 波的反射幅度 (r_{-+}) 仅仅为 0.2. 由此可知, 该超表面不仅选择性地反射了 LCP 波, 而且其旋

向保持不变. 该功能可以看作一个圆极化器和滤波器的整合. 考虑到手性结构会存在交叉极化反射, 因此, 单元整体的吸收率 (A) 简单定义为

$$A^+ = 1 - (r_{-+})^2 - (r_{++})^2 = 1 - R_{-+} - R_{++}, \quad (6)$$

$$A^- = 1 - (r_{+-})^2 - (r_{--})^2 = 1 - R_{+-} - R_{--}, \quad (7)$$

式中 R_{+-} (R_{-+}) 表示交叉极化反射, R_{--} (R_{++}) 表示共极化反射. 计算的吸收率谱线如图 3 所示.

从图 3 可以清晰地看到, 在 7.2 GHz 处 RCP 波的吸收率达到了 90% 以上, 而 LCP 波的吸收率在 19% 以下. 这表明入射的 RCP 波被高效地吸收, 而几乎所有的 LCP 波被反射. 在实际的应用当中, 入射的电磁波往往以不同的角度斜入射在物体表面上, 因此讨论了单元对入射角度的敏感性. 在这里分别研究了入射波矢在 xoz 和 $yozy$ 平面内的斜入射吸波性能. 计算结果如图 4 所示.

从仿真结果可以看出, 对于入射波矢在 xoz 面内的情况, 当入射角从 0° 变化到 45° 的时候, 虽然 RCP 波的吸收率稍微有点降低, 但是仍然维持在了 77% 以上, 而 LCP 波的吸收率在 30% 以下. 然而, 对于入射波矢在 $yozy$ 面的情况, RCP 波的吸收率随着角度的增加而逐渐降低, 但是仍保持着 60% 以上的吸收率.

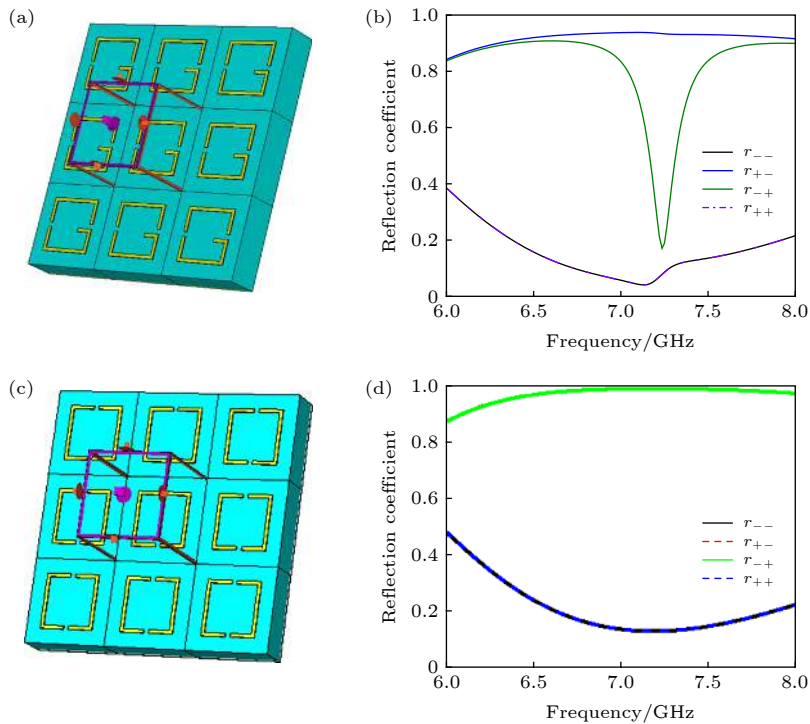


图 2 仿真边界条件设置和反射系数仿真结果 (a), (c) 边界条件设置; (b), (d) 反射系数仿真结果

Fig. 2. Setting of the simulation boundaries and the simulated results of reflection coefficient: (a), (c) Setting of the simulation boundaries; (b), (d) the simulated results of reflection coefficient.

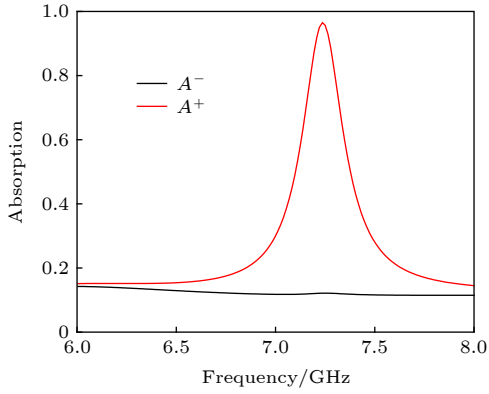


图 3 LCP 和 RCP 波的吸收率谱线

Fig. 3. The absorption spectra of LCP and RCP wave.

为进一步揭示物理机理, 对谐振频率 7.2 GHz 处超表面单元的表面电流和能量损耗分布进行仿真. 由于金属结构的非对称性, LCP 波和 RCP 波将在结构表面引起不同的电流分布和能量损耗. 从图 5 的仿真结果可以很清楚地看到, RCP 波入射能够引起很强的表面电流和能量损耗, 从而实现旋向选择吸波.

为了进一步证明该方案的可行性, 采用所设计的单元加工一个包含 20×20 个单元的超表面进行实验验证. 样品的实物图和测试环境如图 6 所示.

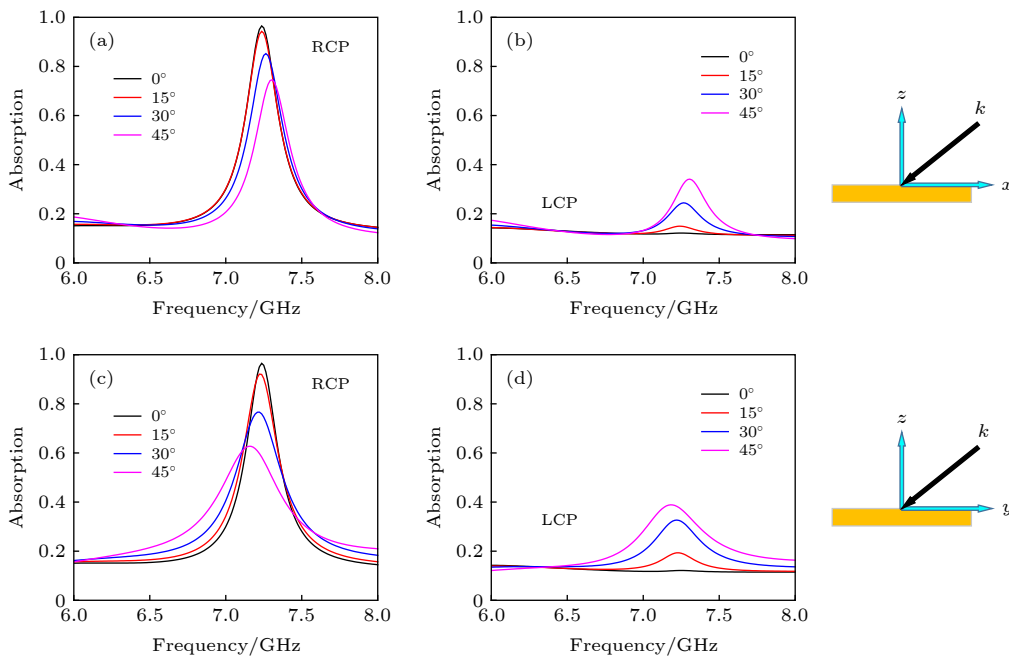


图 4 两种不同情况下不同入射角度的 LCP 和 RCP 波的吸收率谱线 (a), (c) RCP 波吸收谱线; (b), (d) LCP 波吸收谱线

Fig. 4. The absorption spectra of LCP and RCP wave under different incident angles with the wave vectors confined in the x - z plane and y - z plane, respectively: (a), (c) The absorption spectra of LCP wave; (b), (d) the absorption spectra of RCP wave.

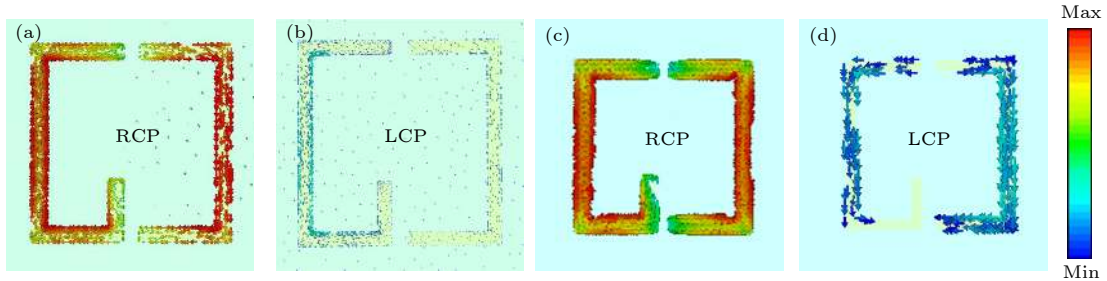


图 5 在谐振频率 7.2 GHz 处的表面电流和能量损耗密度分布 (a) 右旋波圆极化波入射下电流分布; (b) 左旋圆极化波入射下电流分布; (c) 右旋圆极化波入射下能量损耗; (d) 左旋圆极化波入射下能量损耗

Fig. 5. Surface current distributions on the unit cell at 7.2 GHz: (a) Surface current under the incidence of RCP wave; (b) surface current under the incidence of LCP wave; (c) energy loss under the incidence of RCP wave; (d) energy under the incidence of LCP of wave.

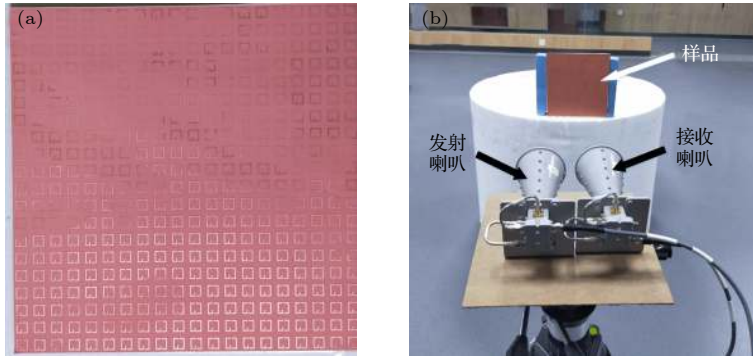


图 6 (a) 超表面样品; (b) 测试环境设置

Fig. 6. (a) Fabricated prototype of the proposed metasurface; (b) experimental setup.

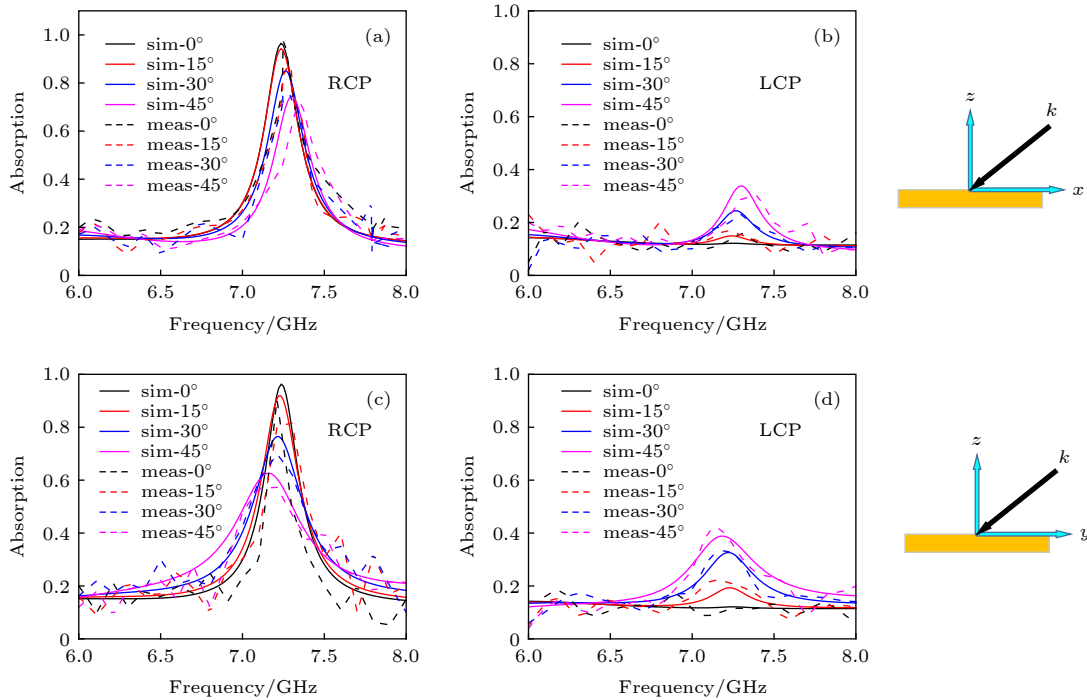


图 7 两种不同情况下对于不同入射角度的 LCP 和 RCP 波的仿真和测试的吸收率谱线 (a), (c) RCP 波吸收谱线; (b), (d) LCP 波吸收谱线

Fig. 7. The simulated and measured absorption spectra of LCP and RCP wave under different incident angles with the wave vectors confined in the x - z plane and y - z plane, respectively: (a), (c) The absorption spectra of LCP wave; (b), (d) the absorption spectra of RCP wave.

如图 6(b) 所示, 在测试的过程中, 将两个工作在 4—8 GHz 的圆极化喇叭作为发射和接收天线连结在矢量网络分析仪的两个端口上. 喇叭与样品之间的距离满足远场条件, 确保入射在样品表面的电磁波为平面波. 图 7 呈现了测试和仿真结果的对比.

从图 7 的结果中可以看出, 测试结果和仿真结果几乎是一致的, 微小的偏差主要是样品加工过程中不可避免的误差.

所设计的单元不仅可以在微波段实现旋向的选择吸波, 而且可以很容易地扩展到高频段. 将结

构参数降低到微米级别进行了如图 8 所示的 THz 频段仿真. 具体的结构参数如下: $p = 10 \mu\text{m}$, $a = 6.2 \mu\text{m}$, $g = 0.6 \mu\text{m}$, $w = 0.4 \mu\text{m}$, $l = 2 \mu\text{m}$, $d = 2.5 \mu\text{m}$. 仿真结果表明, 在 15.5 THz 处右旋波达到了 90% 以上的吸收率, 而左旋波吸收率不足 20%, 这充分证明了该方案可以很容易扩展到高频段的可行性. 接下来, 将本文结果与近年来的工作进行对比, 对比结果如表 1 所列. 从表 1 中可以看到, 本文的方法在吸收率和入射角度方面表现出了较优异的性能.

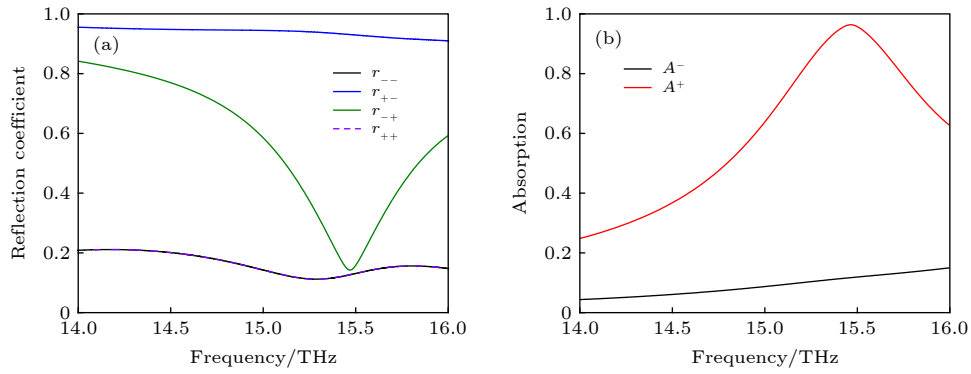


图 8 在 THz 频段反射系数和吸收率谱线仿真结果 (a) 反射系数; (b) 吸收率谱线

Fig. 8. The simulated results of reflection coefficient and absorption spectra at frequency band of THz: (a) The reflection coefficient; (b) the absorption spectra.

表 1 不同方法的对比

Table 1. The comparison of different approaches.

数据来源	频率	吸收率	入射角度
文献[19]	8.2 GHz	93.2%	未报道
文献[20]	1.9 THz	90.0%	未报道
本工作	7.2 GHz	93.0%	45°

5 结 论

本文提出了一种基于改进后的方形开口环单元结构超表面产生圆极化波旋向选择吸波的方法. 该单元结构同时打破了 n 重 ($n > 2$) 旋转对称和镜像对称, 满足了产生旋向选择吸波的理论条件. 仿真结果也表明, 该超表面能够在 7.2 GHz 处实现右旋圆极化波的吸收和左旋圆极化波的反射, 而且不改变反射波的旋向. 右旋圆极化波的吸收率在谐振频率处达到了 90% 以上, 而左旋圆极化波的吸收率仅仅在 19% 以下. 该方法不需要加载任何电子元件, 克服了以往方法加工难度大的难题, 有望在手性传感器和卫星通讯等领域得到广泛的应用, 甚至可以推广到更高频段.

参考文献

[1] Kazemzadeh A, Karlsson A 2010 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **58** 3637
 [2] Gau J R J, Burnside W D, Gilreath M 1997 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **45** 1286
 [3] Michielssen E, Sajer J M, Ranjithan S, Mittra R 1993 *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.* **41** 1024
 [4] Sun Y Y, Han L, Shi X Y, Wang Z N, Liu D H 2013 *Acta*

Phys. Sin. **62** 104201 (in Chinese) [孙彦彦, 韩璐, 史晓玉, 王兆娜, 刘大禾 2013 *物理学报* **62** 104201]
 [5] Guo W L, Wang G M, Li H P, Hou H S 2016 *Acta Phys. Sin.* **65** 074101 (in Chinese) [郭文龙, 王光明, 李海鹏, 侯海生 2016 *物理学报* **65** 074101]
 [6] Li X N, Zhou L, Zhao G Z 2019 *Acta Phys. Sin.* **68** 238101 (in Chinese) [李晓楠, 周璐, 赵国忠 2019 *物理学报* **68** 238101]
 [7] Zhou L, Zhao G Z, Li X N 2019 *Acta Phys. Sin.* **68** 108701 (in Chinese) [周璐, 赵国忠, 李晓楠 2019 *物理学报* **68** 108701]
 [8] Jing L Q, Wang Z J, Zheng B, et al. 2018 *NPG Asia Materials* **10** 888
 [9] Feng M C, Li Y F, Zhang J Q, Wang J F, Wang C, Ma H, Qu S B 2018 *Acta Phys. Sin.* **67** 198101 (in Chinese) [丰茂昌, 李勇峰, 张介秋, 王甲富, 王超, 马华, 屈绍波 2018 *物理学报* **67** 198101]
 [10] Li Y F, Zhang J Q, Qu S B, Wang J F, Wu X, Xu Z, Zhang A X 2015 *Acta Phys. Sin.* **64** 124102 (in Chinese) [李勇峰, 张介秋, 屈绍波, 王甲富, 吴翔, 徐卓, 张安学 2015 *物理学报* **64** 124102]
 [11] Landy N I, Sajuyigbe S, Mock J J, Smith D R, Padilla W J 2008 *Phys. Rev. Lett.* **100** 207402
 [12] Wang Z J, Jia H, Yao K, Cai W S, Chen H S, Liu Y M 2016 *ACS Photonics* **3** 2096
 [13] Jing L Q, Wang Z J, Yang Y H, et al. 2018 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **66** 7148
 [14] Wang C Y, Liang J G, Xiao Y, Cai T, Hou H S, Li H P 2019 *Opt. Express* **27** 14942
 [15] Wang L L, Huang X J, Li M H, Dong J F 2019 *Opt. Express* **27** 25983
 [16] Luo M, Shen S, Zhou L, Wu S, Zhou Y, Chen L 2017 *Opt. Express* **25** 16715
 [17] Zhang C, Cheng Q, Yang J, Zhao J, Cui T J 2017 *Appl. Phys. Lett.* **110** 143511
 [18] Zhou Y L, Cao X Y, Gao J, Yang H H, Zheng Y J, Li S J 2019 *Mater. Res. Express* **6** 015802
 [19] Li M H, Guo L Y, Dong J F, Yang H L 2014 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **47** 185102
 [20] Cheng Y Z, Chen H R, Zhao J C, Mao X S, Cheng Z Z 2018 *Opt. Mater. Express* **8** 1399
 [21] Shang S, Yang S Z, Liu J, Shan M, Cao H L 2016 *J. Appl. Phys.* **120** 045106

Absorbers with spin-selection based on metasurface*

Wang Chao-Hui Li Yong-Xiang Zhu Shuai[†]*(Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710051, China)*

(Received 7 April 2020; revised manuscript received 11 July 2020)

Abstract

In recent years, due to their features nonexistent in natural materials, the perfect absorbers based on metasurfaces have become a hot research point. Although great progress has been made, the absorbers with spin-selection are rarely reported. However, the absorbers with spin-selection have more widespread applications in chiral sensors and satellite communication. Therefore, a spin-selection absorber based on the metasurface with modified square split-ring structure is proposed. Firstly, the theoretical conditions for generating the spin-selection absorption are analyzed theoretically, and then the qualified metasurface unit cell is designed under the guidance of the theory. We design an asymmetric modified square split-ring resonator to break both the n -fold ($n>2$) rotational symmetry and mirror symmetry. The unit cell is composed of three layers, i.e. the top layer, which is a modified square split-ring, the middle layer, which is an FR4 dielectric plate with a thickness of 4 mm, and the bottom layer, which is an all-metal plate acting as the reflecting incident wave. In order to obtain the optimal performance, the designed meta-atom is optimized by CST Microwave Studio, a well-known commercial full wave simulation software. The numerical simulation results show that the unit cell can selectively absorb the right-handed circularly polarized waves and reflect left-handed circularly polarized waves at 7.2 GHz. A maximum absorption rate for the absorption of right-handed circularly polarized (RCP) waves reaches a value higher than 90%, while the absorption rate of the other spin state is kept lower than 19%. In addition, to meet the need of practical applications, the absorption performance is also further investigated under different oblique incident angles, with the wave vectors confined in the x - z plane and y - z plane, respectively. Finally, to further understand the mechanism of spin-selection absorber, the surface current distributions are also simulated for LCP and RCP wave, respectively. The different surface current distributions are obtained for incident LCP and RCP wave, which is a solid evidence for spin-selection absorption. This paper offers a reference for the generation of spin-selection absorber. The proposed method not only is suitable for microwave region, but also can be extended to higher frequencies, and hopefully it can be widely used in the field of communication.

Keywords: metasurface, absorber, spin-selection**PACS:** 41.20.Jb, 73.20.Mf**DOI:** 10.7498/aps.69.20200511

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 51675530).

[†] Corresponding author. E-mail: zhushuai111995@163.com