

一种高增益低雷达散射截面的新型圆极化微带天线设计

丛丽丽 付强 曹祥玉 高军 宋涛 李文强 赵一 郑月军

A novel circularly polarized patch antenna with low radar cross section and high-gain

Cong Li-Li Fu Qiang Cao Xiang-Yu Gao Jun Song Tao Li Wen-Qiang Zhao Yi Zheng Yue-Jun

引用信息 Citation: *Acta Physica Sinica*, 64, 224219 (2015) DOI: 10.7498/aps.64.224219

在线阅读 View online: <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.224219>

当期内容 View table of contents: <http://wulixb.iphy.ac.cn/CN/Y2015/V64/I22>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

等离子体填充金属光子晶体慢波结构色散特性研究

Dispersion properties of plasma-filled metallic photonic crystal slow-wave structure

物理学报.2015, 64(17): 174205 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.174205>

非长波极限下二维光子晶体中横电模的等效介质理论

Effective medium theory of two-dimensional photonic crystal for transverse electric mode beyond the long-wavelength limit

物理学报.2015, 64(15): 154210 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.154210>

量子受限效应对称性效应对硅光子晶体禁带的影响

Effects of quantum confinement and symmetry on the silicon photonic crystal band gap

物理学报.2015, 64(6): 064208 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.064208>

低对称性光子晶体超宽带全角自准直传输的机理研究

Physical mechanism of super-broadband and all-angle self-collimation transmission in photonic crystal with low rotational symmetry

物理学报.2015, 64(6): 064209 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.064209>

单负材料组成一维光子晶体双量子阱结构的共振模

Resonant modes in photonic double quantum well structures with single-negative materials

物理学报.2015, 64(6): 064207 <http://dx.doi.org/10.7498/aps.64.064207>

一种高增益低雷达散射截面的新型圆极化微带天线设计*

丛丽丽¹⁾ 付强²⁾ 曹祥玉^{1)†} 高军¹⁾ 宋涛²⁾ 李文强¹⁾
赵一¹⁾ 郑月军¹⁾

1)(空军工程大学信息与导航学院, 西安 710077)

2)(空军工程大学防空反导学院, 西安 710077)

(2015年5月14日收到; 2015年7月8日收到修改稿)

设计了一种基于人工电磁材料覆层的高增益低雷达散射截面 (radar cross section, RCS) 圆极化微带天线. 人工电磁材料覆层是由介质板及其两侧的人工周期表面构成, 上表面是加载集总电阻的方环贴片, 具有宽带吸波特性和部分反射特性; 下表面是开条带缝和圆环缝的金属贴片, 具有部分反射特性. 将其加载到圆极化微带天线上, 通过覆层上表面的电阻可吸收入射的雷达波, 结合下表面与接地板构成 Fabry-Perot 谐振腔的多次反射, 可实现圆极化微带天线辐射和散射性能的同时改善. 实测结果表明: 加载人工电磁材料覆层后, 天线的相对轴比带宽由 5.9% 扩展为 7.1%; 天线增益在整个工作频带内都得到了提升, 最大提高了 6.61 dB; 天线 RCS 在宽频带宽角域内实现了明显的减缩, 在天线工作频带内也实现了 3 dB 以上减缩. 实测结果与仿真结果符合较好.

关键词: 人工电磁材料, 圆极化, 雷达散射截面, Fabry-Perot 谐振腔

PACS: 42.70.Qs, 41.20.Jb, 42.25.Bs

DOI: 10.7498/aps.64.224219

1 引言

在电子战与信息战飞速发展的今天, 隐身技术的优劣已经直接关系到作战平台的突防和生存能力. 雷达散射截面 (radar cross section, RCS) 作为对目标隐身能力的一种度量, 定量地反映了目标对电磁波反射能力的大小. 随着现代隐身技术的飞速发展, 飞行器以及舰艇等平台的 RCS 已经得到了有效的减缩, 但天线 RCS 已成为制约战机平台总体隐身性能提高的瓶颈. 天线作为一种特殊的散射体, 在实现其 RCS 减缩的同时必须保证自身电磁波的正常发射和接收. 截至目前, 仍然是通过某种折中设计, 如低 RCS 外形设计^[1,2]、雷达吸波材料技术等^[3-6], 在一定程度上实现 RCS 减缩的目的,

没有根本解决天线辐射性能与隐身之间的矛盾. 微带天线由于其体积小、低轮廓、易共形、电性能多样化等优点, 在作战武器平台上有着广阔的应用前景^[7,8]. 伴随着航空航天技术的发展和雷达使用范围的扩大, 线极化微带天线已经难以满足所有应用的要求. 相比之下, 圆极化微带天线可接收任意极化的来波, 任意极化的天线可接收圆极化微带天线辐射的电磁波, 且圆极化微带天线具有旋向正交性等优点^[9], 这使其被广泛地应用于电子侦察、干扰、无线通信、GPS 导航等领域^[9-14].

目前针对圆极化微带天线的研究大多致力于其辐射性能的提升. 例如文献^[15]将印刷有方形贴片的部分反射表面加载到左/右旋圆极化天线的正上方构成 Fabry-Perot (F-P) 谐振腔, 通过优化部分反射表面的结构实现了天线增益的提升; 文

* 国家自然科学基金 (批准号: 61271100, 61471389)、陕西省自然科学基金基础研究计划 (批准号: 2012JM8003) 和空军工程大学信息与导航学院博士创新基金 (批准号: KGD103201402) 资助的课题.

† 通信作者. E-mail: gjgj9694@163.com

文献[16]设计了一种可独立调控反射系数和传输系数幅度、相位的部分反射表面,将其加载于线极化馈源上方,可实现较高增益的圆极化天线设计;文献[17]设计了一种双频段极化独立的电磁带隙(electromagnetic band gap)结构,将其与双频段偶极子天线一体化设计,得到了一种双频段极化独立的圆极化天线,在双频段内均可实现较高的增益;文献[18]将超表面加载到普通贴片天线和缝隙天线上方,实现了线极化辐射波到圆极化辐射波的转换,同时天线方向性明显增强,增益得到了提高;文献[19]设计了一种宽带高增益圆极化天线,通过在蝶形偶极子外圈加载方环和圆环,使得天线增益在1.1—1.6 GHz 频段范围内保持在10.3 dB以上;文献[20]基于超表面设计了一种宽带圆极化保持反射器,在9.2—17.7 GHz 宽频段范围内,对于左/右旋圆极化波均可实现超过98%的反射圆极化保持效率;文献[21]设计了一种环形微带天线,通过存在90°相位差的两个改进的L形探针馈电,极大地展宽了天线的半功率波束宽度(half power beam width, HPBW),同时实现了天线的小型化;但是关于圆极化微带天线RCS减缩技术的研究则相对较少,文献[22—25]分别通过在圆极化微带天线接地地板开圆孔和条带缝隙或者刻蚀准分形结构等方式,实现了在保持圆极化天线辐射性能的前提下天线RCS的减缩.以上的低RCS圆极化微带天线设计仅仅是在保持辐射增益不变的前提下减缩了其RCS,关于同时改善圆极化微带天线辐射和散射性能的研究尚未见报道.

本文提出了一种极化稳定的具有部分反射特性和吸波特性的人工电磁材料覆层.将其与圆极化

缝隙耦合微带天线一体化设计,覆层上表面加载的吸波电阻将入射波的大部分能量转换为热能,从而实现低RCS特性;下表面的部分反射表面与接地板构成F-P谐振腔,使得从圆极化微带天线辐射出的电磁波在反射表面与接地板之间多次反射,增大了天线的辐射口径,增强了天线的定向性,从而提高了天线的增益;且由于人工电磁材料覆层的极化无关特性,使得圆极化微带天线的圆极化特性得到了很好的保持.仿真和实测结果表明,加载覆层后的天线RCS在宽频带宽角域范围内实现了明显的减缩,同时天线的轴比带宽有所展宽,增益在整个工作频带内都得到了提升,从而实现了一种高增益和低RCS的圆极化微带天线设计.

2 结构设计与分析

2.1 覆层结构设计与分析

本文设计的覆层单元结构示意图见图1.单元周期 $L = 12\text{ mm}$,上层是由加载集总电阻的方环贴片构成的吸波表面,环的外边长 $L1 = 8\text{ mm}$,环宽 $w2 = 1\text{ mm}$,开口长 $w1 = 1\text{ mm}$,方环贴片开口处加载集总电阻 $R = 130\ \Omega$;中间层是FR4介质层,介电常数 $\epsilon_r = 4.4$,电损耗角正切 $\tan\delta = 0.02$,厚度 $t = 3.5\text{ mm}$;下层是由开条带缝和圆环缝的金属贴片构成的部分反射表面,圆环缝的外径 $r1 = 2.28\text{ mm}$,内径 $r2 = 1.88\text{ mm}$,四边缝隙长度 $L2 = 6.3\text{ mm}$,宽度 $w = 0.1\text{ mm}$.对称的单元结构设计使得覆层天线罩对于不同角度入射的电磁波都具有较好的极化稳定性.

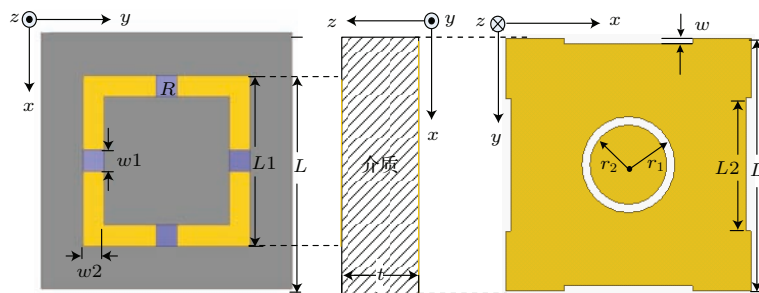


图1 覆层单元结构图

Fig. 1. Unit cell of superstrate structure.

利用Ansoft HFSS 14.0软件中的Floquet端口和主从边界条件模拟无限周期结构,仿真模型如图2所示.当电磁波由端口2入射时(方向从 $-z$

到 $+z$),两种极化情况下覆层的频率响应曲线如图3(a)和图3(b)所示.从图3可以看出,对于 x 极化和 y 极化两种情况,覆层的频率响应曲线基本一

致,在整个频段内呈现出类似金属板的全反射特性, S_{22} 始终保持在 -1.3 dB 以上, S_{12} 始终在 -9 dB 以下. 反射系数相位曲线的斜率在 $12.27\text{--}12.97$ GHz 的频率范围内均为正,相应的反射系数模值在该频段内保持在 0.86 以上,此时无论 x 极化还是 y 极化,

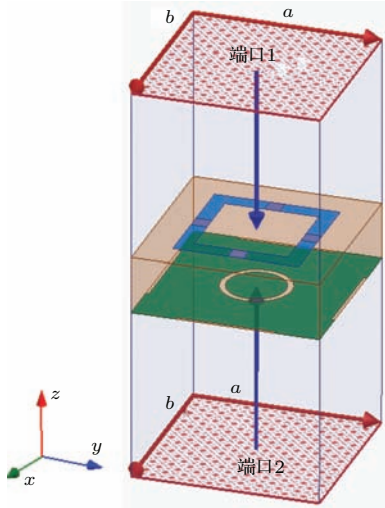


图2 覆层仿真模型示意图

Fig. 2. Simulation model of the unit cell.

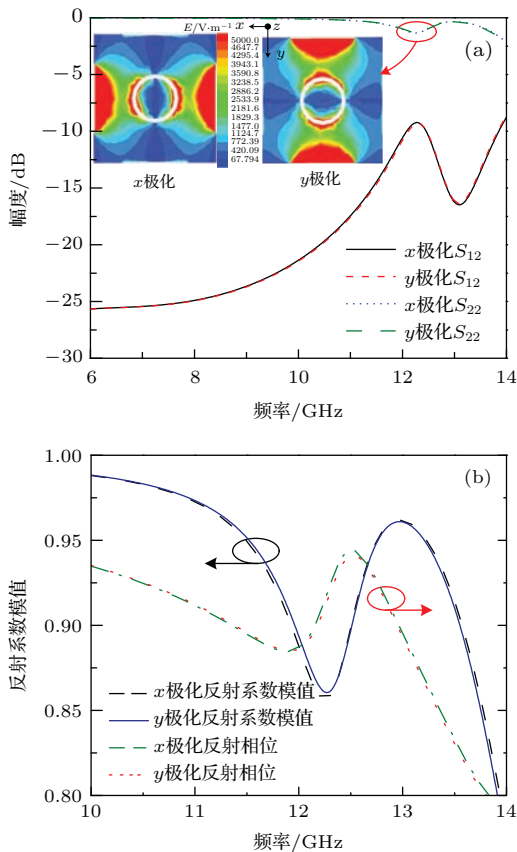


图3 (网刊彩色) 覆层频率响应曲线

Fig. 3. (color online) Simulated reflection and transmission coefficients of the superstrate.

覆层均具有较强的部分反射特性. 在 12.27 GHz 处覆层下表面的表面电场分布由图 3(a) 的内插图所示,可以看出下层表面的矩形缝隙和圆形缝隙在 x, y 极化的外加电场作用下,使感应电场都往两边聚集,从而产生了电谐振,而能量则通过覆层下表面和上表面之间的电磁耦合传递出去 [22].

图 4 给出了电磁波由端口 1 垂直入射时(方向从 $+z$ 到 $-z$),即入射角度 $\theta = 0^\circ$ 时,两种极化情况下覆层的频率响应曲线和吸波率曲线. 从图 4 可以看出,覆层上表面对两种极化入射波具有较好的稳定性,在 $5.76\text{--}11.96$ GHz 的频带范围内,反射系数 $S_{11} < -10$ dB,透射系数 $S_{21} < -10$ dB,尤其在 $5.76\text{--}11.43$ GHz 的频带范围内 S_{21} 始终保持在 -20 dB 以下,反射波和透射波都很小,由吸波率计算公式 $A = 1 - |S_{11}|^2 - |S_{21}|^2$ 可知,在上述频段内吸波率都在 90% 以上,尤其在 $6.23\text{--}7.83$ GHz 的频带范围内,吸波率都达到 95% 以上. 仿真结果表明,覆层上表面在两种极化状态下都能在宽频带范围内有效吸收入射电磁波.

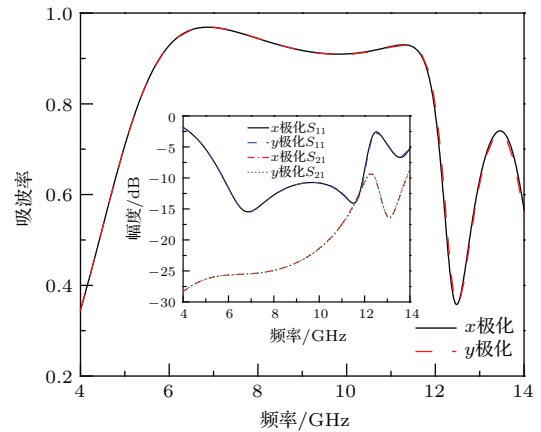


图4 (网刊彩色) 吸波率曲线(内插图为吸波层频率响应)

Fig. 4. (color online) Absorption of the superstrate. Inset shows simulated reflection and transmission coefficients of the superstrate.

图 5 给出了 x 极化(TM极化)和 y 极化(TE极化)两种极化情况下,覆层在不同入射波角度、不同频点处的吸波率谱. 从图 5 可以明显看出,两种极化情况下的覆层吸波率谱基本一致,在 $6\text{--}12$ GHz 宽频带范围内, $-60^\circ\text{--}+60^\circ$ 宽入射角域内,覆层均保持较高的吸波率,在 $5.9\text{--}8.5$ GHz 频带, $-30^\circ\text{--}+30^\circ$ 入射角域内,吸波率始终在 90% 以上. 仿真结果表明,覆层在两种极化状态下对不同角度入射波均具有较好的稳定性,且具有宽带吸波特性.

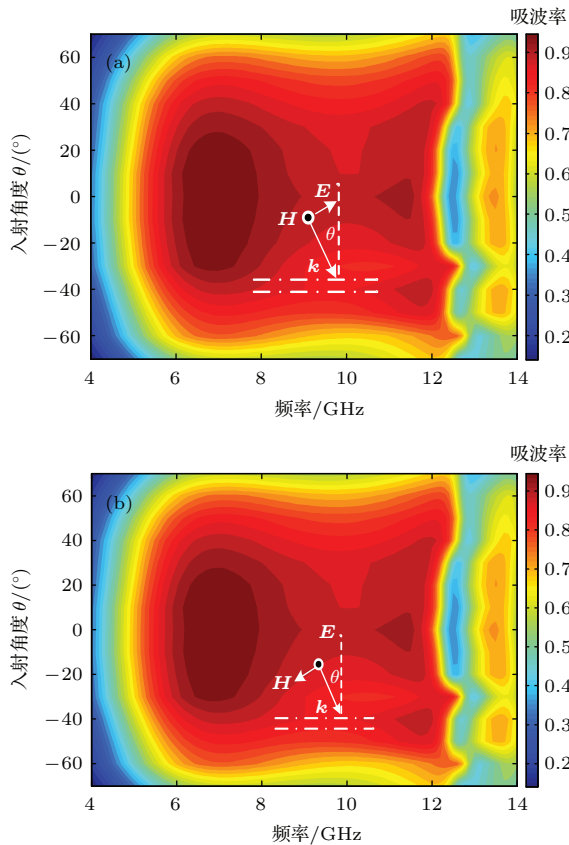


图5 (网刊彩色) 吸波率谱 (a) x 极化; (b) y 极化
 Fig. 5. (color online) Simulated absorption spectra of the superstrate: (a) x polarization (b) y polarization.

2.2 加载覆层后微带天线仿真性能分析

选用圆极化微带天线作为激励源, 将上述设计的人工电磁材料覆层与圆极化微带天线一体化, 其结构和仿真模型分别如图6(a)和图6(b)所示. 图6所示的圆极化天线是由缝隙层、馈电层以及

接地板构成的缝隙耦合型右旋圆极化天线, 缝隙层为厚度2 mm的Rogers RT/duroid 5880介质层, 馈电层为厚度0.508 mm的Neltec NH9338介质层, 接地板上开有“卍”形缝隙. 覆层加载高度 h 由公式

$$h = \frac{\lambda(\angle\varphi_1 + \angle\varphi_2)}{4\pi} - d\sqrt{\varepsilon_A} + \frac{k\lambda}{2},$$

$$k = 0, 1, 2, \dots [26]$$

决定 (其中 $\angle\varphi_1$ 和 $\angle\varphi_2$ 分别为部分反射表面和金属接地板的反射相位, ε_A 为天线介质板的相对介电常数, d 为天线介质板的厚度, λ 为天线辐射波长), 经过参数优化, 最终选定加载的高度 $h = 15$ mm.

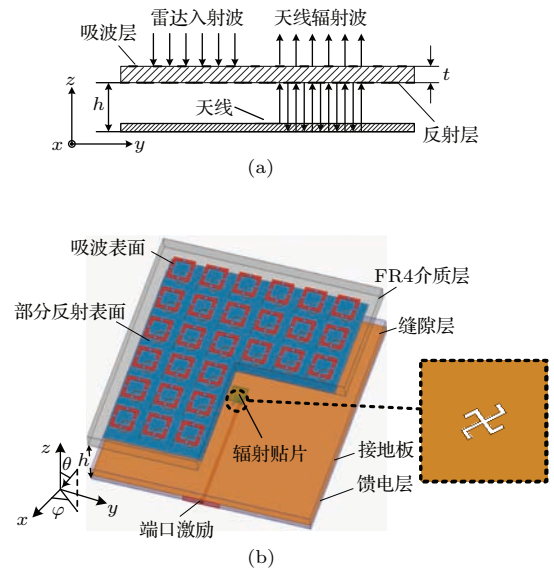


图6 加载覆层后天线示意图 (a) 结构示意图; (b) 仿真模型示意图
 Fig. 6. Schematic view and simulated model of the antenna: (a) Schematic view (b) simulated model.

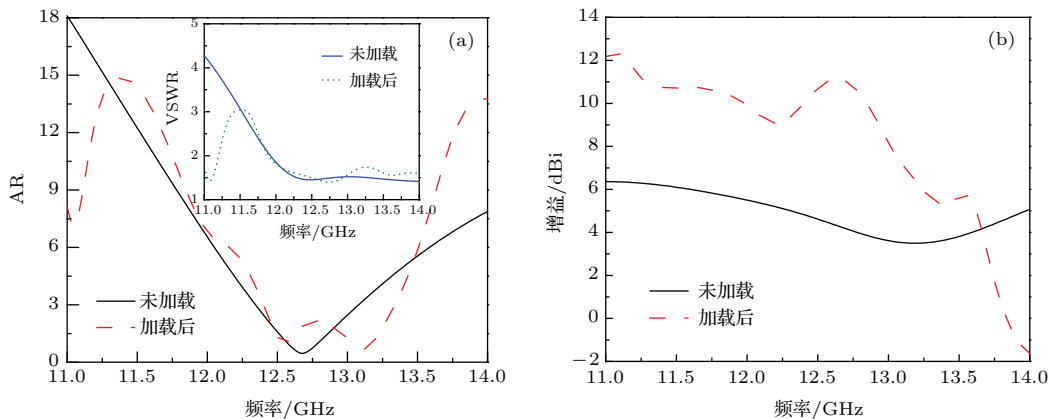


图7 (网刊彩色) 加载覆层前后辐射性能对比 (a) AR曲线对比(内插图为VSWR曲线); (b) 增益曲线对比
 Fig. 7. (color online) Comparisons of simulated AR and gain: (a) Simulated AR (inset shows frequency response of VSWR with and without superstrate); (b) simulated gain.

图 7(a) 和图 7(b) 分别给出了加载覆层前后天线的反射系数曲线和增益曲线对比图. 从图 7 可以看出, 原始天线的驻波比 (voltage standing wave Ratio, VSWR) 在 11.9—14 GHz 的频带范围内低于 2, 轴比 (axial ratio, AR) 带宽为 12.34—13.08 GHz, 加载覆层后, 天线 VSWR 带宽与原始天线保持一致, 天线 AR 带宽在 12.4—13.34 GHz 的频带范围内低于 3 dB. 与原始天线相比, 加载覆层后天线的 AR 带宽略向高频偏移且有所展宽, 相对 AR 带宽由 5.8% 扩展为 7.3%. 同时, 由于覆层下表面

与金属地板构成 F-P 谐振腔, 增大了天线的辐射口径, 使得天线增益在整个工作频带内得到了明显提升, 最大提高了 6.86 dB, 3 dB 增益带宽为 12.4—13.18 GHz, 约为 780 MHz, 如图 7(b) 所示.

图 8(a) 和图 8(b) 给出了加载覆层前后天线在 12.67 GHz 处的方向图. 从图 8 可以看出, 加载覆层后, HPBW 由原始天线的 74° 缩小至 18°, 天线的定向性得到了明显改善. 同时, 天线前向增益由原始天线的 4.3 dBi 增加至 11.16 dBi, 最大提高了 6.86 dB.

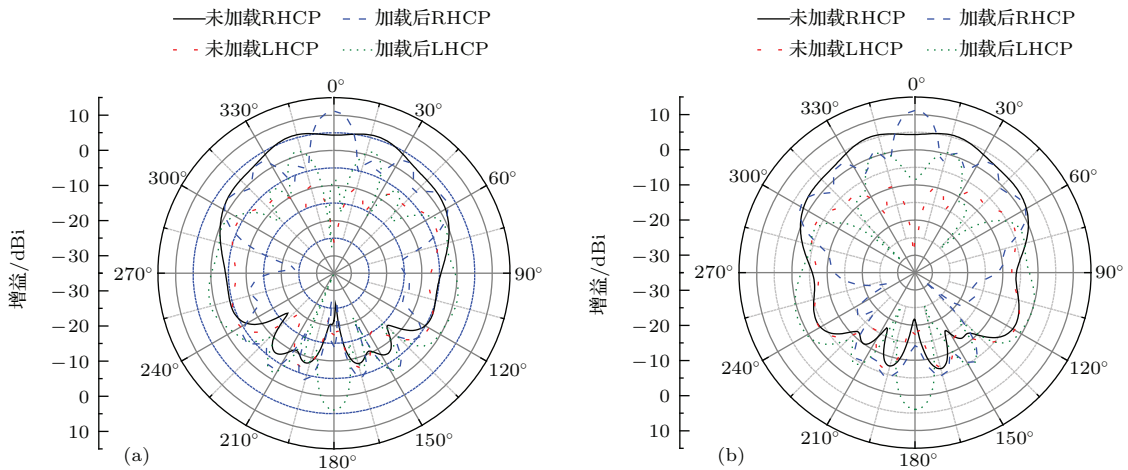


图 8 (网刊彩色) 加载覆层前后方向图对比图 (a) xoz 面; (b) yoz 面

Fig. 8. (color online) Comparisons of simulated radiation patterns: (a) xoz plane; (b) yoz plane.

为了分析天线的散射性能, 分别用 x 极化和 y 极化的平面波照射加载覆层前后的天线. 图 9 给出了入射波垂直入射条件下加载覆层前后扫频 RCS 曲线对比. 从图 9 可以看出, 无论 x 极化还是 y 极化, 除了 2—2.35 GHz 的较窄频带内, 天线在 2—14 GHz 的宽频带范围内均实现了 RCS 的有效减缩, 最大减缩量分别为 18 dB 和 19 dB. 值得注意的是, 在圆极化天线工作的频带内, 天线 RCS 也有 3 dB 以上减缩. 仿真结果证明, 加载覆层后的天线对于 x 极化和 y 极化两种极化入射波都具有宽带低 RCS 特性.

域内实现了 RCS 3 dB 以上减缩. 两种极化入射波照射下, 天线法向 RCS 减缩均达到 18 dB. 仿真结果同时进一步验证了上文覆层单元的极化稳定性和宽带吸波特性的.

图 10(a) 和图 10(b) 给出了两种极化平面波照射下的天线单站 RCS 随入射角度 θ 的变化, 入射波频率为 6.3 GHz. 从图 10 可以看出: 对于 x 极化入射波, 除 $\pm 35^\circ$ 很小角域内, 天线在 -45° — $+45^\circ$ 角域内实现了 RCS 的有效减缩; 对于 y 极化入射波, 除 $\pm 17^\circ$ 很小角域内, 天线在 -75° — $+75^\circ$ 宽角

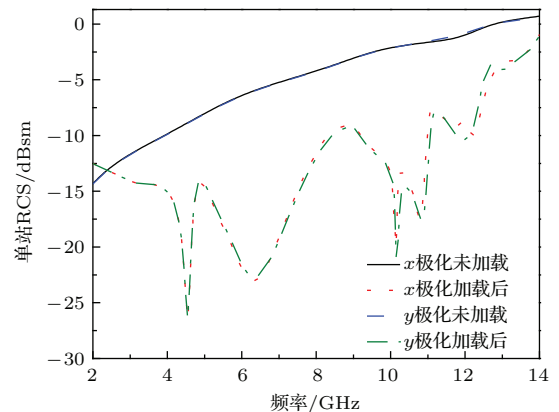


图 9 (网刊彩色) 加载覆层前后扫频单站 RCS 曲线

Fig. 9. (color online) Comparisons of monostatic RCS of antennas with and without superstrate.

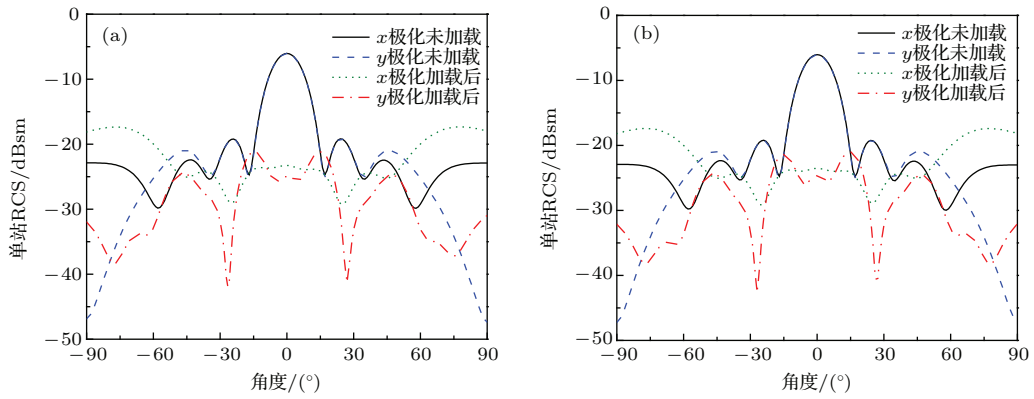


图 10 (网刊彩色) 加载覆层前后扫角单站 RCS 曲线 (a) xoz 面; (b) yoz 面

Fig. 10. (color online) Comparisons of monostatic RCS with and without superstrate as a function of angle under normal incidence: (a) xoz plane (b) yoz plane.

3 实测分析

加工制作了人工电磁材料覆层和圆极化微带天线, 为了减小一体化带来的影响, 采用塑料螺钉将覆层固定在微带天线正上方, 天线实物和实测配置如图 11 (a) 和图 11 (b) 所示. 利用 Agilent N5230 C 矢量网络分析仪对天线的 VSWR 进行测量, 增益和方向图通过微波暗室测量, 测试结果如图 12 所示. 从图 12 (a) 可以看出, 加载覆层前后, 实测天线 VSWR 分别在 11.88—14 GHz 和 11.93—14 GHz 频带范围内低于 2, AR 带宽分别为 12.32—13.08 GHz 和 12.31—13.22 GHz, 相对 AR 带宽由 5.9% 扩展到 7.1%. 实测结果与仿真结果的一致性验证了设计的正确性, 二者之间的微小差异是由覆层加载高度以及加工误差导致的.

实测天线增益曲线如图 12 (b) 所示. 从图 12 (b) 可以看出, 加载覆层后天线增益在整个天线工作频带内都得到提高, 最大提高了 6.61 dB.

选取 12.67 GHz 为测试频点, 该频点处 xoz 面和 yoz 面实测方向图如图 13 所示. 由实测结果可知, 加载覆层后, 天线前向增益由 4.44 dBi 提高至 11.05 dBi, HPBW 由原始天线的 68° 缩小至 14° . 实测结果验证了加载覆层后天线的定向性得到了提高, 与仿真结果保持一致.

为验证天线 RCS 的减缩性能, 选用两个宽带喇叭天线作为测量天线, 测量天线工作频带覆盖待测天线工作频带, 发射端的喇叭天线辐射电磁波照射到待测天线上, 经天线散射后的电磁波由接收端的喇叭天线接收. 图 14 给出了 2—14 GHz 频带范围内两种极化情况下加载覆层前后天线单站 RCS 随频率的变化. 从图 14 可以看出, 水平极化 (对应仿真模型中 x 极化) 和垂直极化 (对应仿真模型中 y 极化) 基本一致, 待测天线在 2.2—14 GHz 的宽频带范围内均实现了 RCS 的有效减缩, 其中, 在 4.5, 6.3, 10.15 GHz 三个频点处的减缩量分别为 18, 18, 17 dB. 测试结果与仿真结果基本一致, 验证了该天线具有宽带低 RCS 特性.

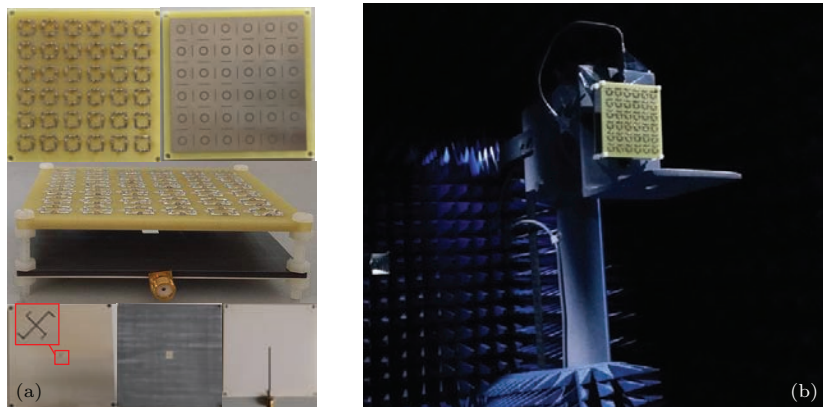


图 11 (a) 天线实物图; (b) 实测配置图

Fig. 11. (a) Photograph of the fabricated antenna; (b) measurement circumstance and setup.

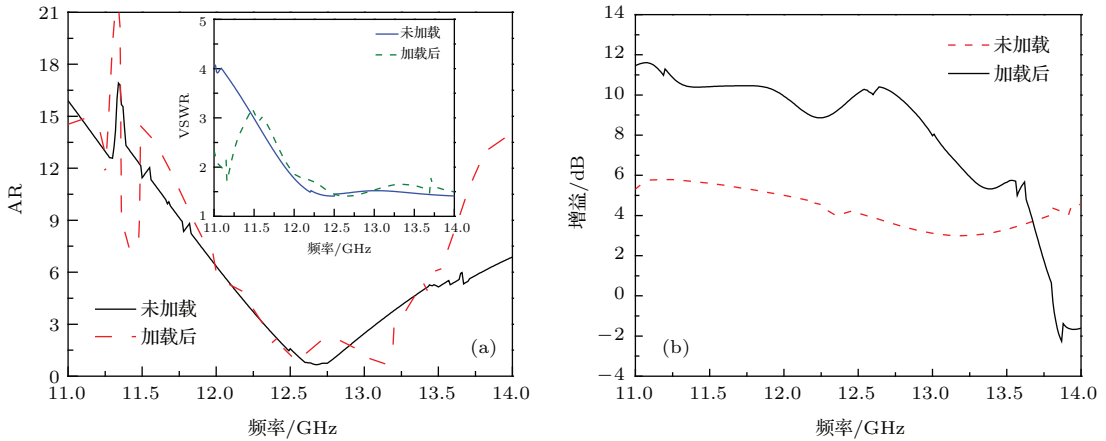


图 12 (网刊彩色) 加载覆层前后实测辐射性能对比 (a) 实测 AR 曲线 (内插 VSWR); (b) 实测增益曲线
 Fig. 12. (color online) Comparisons of measured AR and gain: (a) Measured AR (inset: frequency response of VSWR with and without superstrate); (b) measured gain.

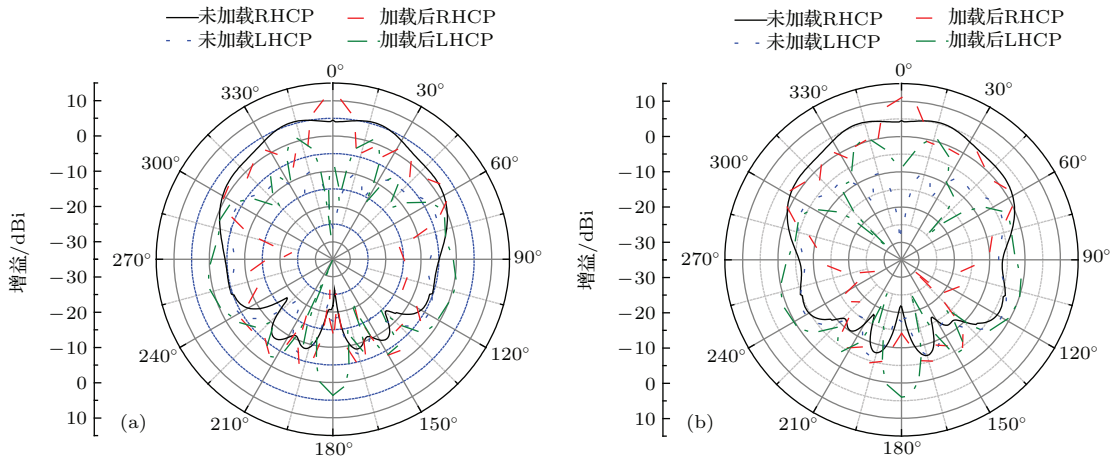


图 13 (网刊彩色) 实测方向图 (12.67 GHz 处) (a) xoz 面; (b) $yo z$ 面
 Fig. 13. (color online) Measured radiation patterns at 12.67 GHz: (a) xoz plane; (b) $yo z$ plane.

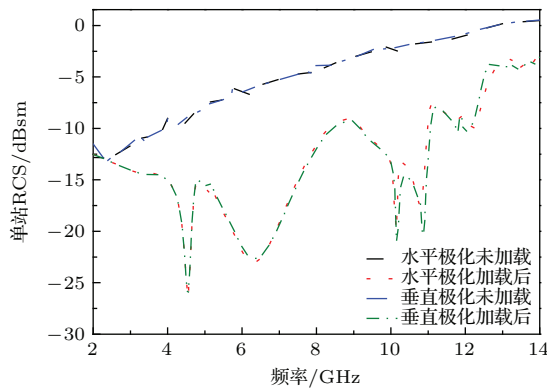
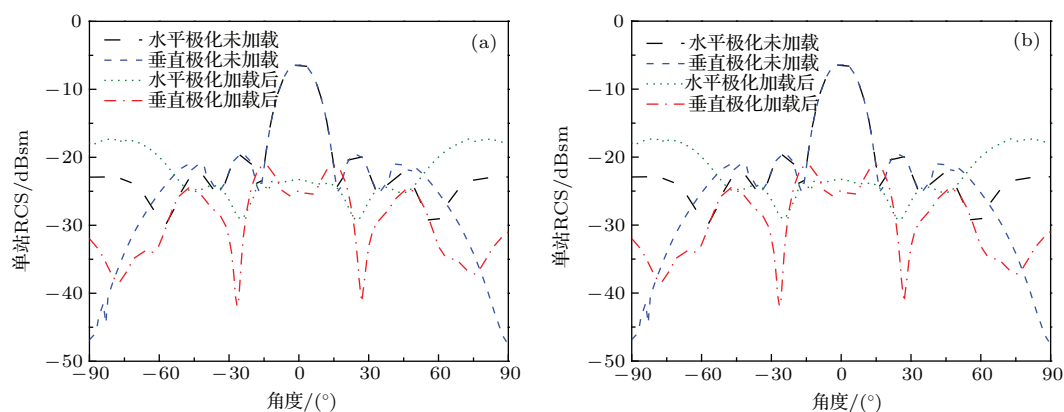


图 14 (网刊彩色) 加载覆层前后实测扫频单站 RCS 曲线
 Fig. 14. (color online) Comparisons of measured monostatic RCS of antennas with and without superstrate.

当入射波频率为 6.3 GHz, 两种极化条件下天线单站 RCS 随入射波角度的变化如图 15(a) 和图 15(b) 所示. 从图 15 可以看出: 对于水平极化入射波, 天线在 -49° — $+49^\circ$ 宽角域内实现了 RCS 的

有效减缩; 对于垂直极化入射波, 天线在 -77° — $+77^\circ$ 角域内实现了 RCS 有效减缩. 两种极化入射波照射下, 天线法向 RCS 减缩均达到 18 dB, 与仿真结果一致.

图 15 (网刊彩色) 加载覆层前后实测扫角单站 RCS 曲线 (a) xoz 面; (b) yoz 面Fig. 15. (color online) Comparisons of measured monostatic RCS with and without superstrate as a function of angle under normal incidence: (a) xoz plane (b) yoz plane.

4 结 论

本文基于 F-P 谐振腔理论模型和电阻能量耗散吸波原理设计了一种具有极化稳定性的人工电磁材料覆层, 将其加载于圆极化微带天线正上方, 利用覆层的部分反射特性增大了天线的辐射口径, 使得天线方向性得到了增强, 天线增益在整个工作频带内得到了提高; 同时, 利用其宽带吸波特性实现了宽频带宽角域内的 RCS 减缩, 在天线工作频带内也有 3 dB 以上减缩, 最终达到同时改善圆极化天线辐射和散射性能的目的. 仿真和实测结果的一致性验证了本文设计方法的正确性. 本文的研究对于兼顾圆极化天线的辐射和散射特性, 在实现低 RCS 的同时实现圆极化天线的增益改善具有一定的借鉴作用.

参考文献

- [1] Jia Y T, Liu Y, Gong S, Hong T, Yu D 2013 *Prog. Electrom. Res. Lett.* **37** 11
- [2] Jiang W, Liu Y, Gong S, Hong T 2009 *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.* **8** 1275
- [3] Yang H H, Cao X Y, Gao J, Liu T, Ma J J, Yao X, Li W Q 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 064103 (in Chinese) [杨欢欢, 曹祥玉, 高军, 刘涛, 马嘉俊, 姚旭, 李文强 2013 物理学报 **62** 064103]
- [4] Li S J, Cao X Y, Gao J, Zheng Q R, Yang Q, Zhang Z, Zhang H M 2013 *Acta Phys. Sin.* **62** 244101 (in Chinese) [李思佳, 曹祥玉, 高军, 郑秋容, 杨群, 张昭, 张焕梅 2013 物理学报 **62** 244101]
- [5] Genovesi S, Costa F, Monorchio A 2014 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **62** 163
- [6] Yang J, Shen Z 2007 *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.* **6** 388
- [7] Zheng Y J, Gao J, Cao X Y, Zheng Q R, Li S J, Li W Q, Yang Q 2014 *Acta Phys. Sin.* **63** 224102 (in Chinese)

- [郑月军, 高军, 曹祥玉, 郑秋容, 李思佳, 李文强, 杨群 2014 物理学报 **63** 224102]
- [8] Zheng Y J, Gao J, Cao X Y, Li S J, Li W Q 2015 *Microw. Opt. Tech. Lett.* **57** 1738
- [9] Teruhisa N, Takeshi F 2011 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **59** 2103
- [10] Nasimuddin, Chen Z N, Qing X 2010 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **58** 2112
- [11] Chang T N, Lin J M 2011 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **59** 3057
- [12] Heidari A A, Heyrani M, Nakhkash M 2009 *Prog. Electromagn. Res. (USA)* **92** 195
- [13] Weily A R, Guo Y J 2009 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **57** 2862
- [14] Zhu H L, Cheung S W, Liu X H, Yuk T I 2014 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **62** 2891
- [15] Vaidya A R, Gupta R K, Mishra S K, Mukherjee J 2014 *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.* **13** 431
- [16] Orr R, Goussetis G, Fusco V 2014 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **62** 19
- [17] Yi H, Qu S W 2013 *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.* **12** 1149
- [18] Zhu H L, Cheung S W, Chung K L, Yuk T I 2013 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **61** 4615
- [19] Liu N W, Zhang Z Y, Zhao J Y, Fu G, Yao Y L 2014 *Microw. Opt. Tech. Lett.* **56** 1274
- [20] Li Y F, Zhang J Q, Qu S B, Wang J F, Zheng L, Zhou H, Xu Z, Zhang A X 2015 *Chin. Phys. B* **24** 014202
- [21] Zhang H L, Hu B J, Zhang X Y 2012 *Chin. Phys. B* **21** 027701
- [22] Jiang W, Zhang Y, Deng Z B, Hong T 2013 *J. Electromagnet. Waves Appl.* **27** 1077
- [23] Jiang W, Zhang Y, Hong T, Deng Z B 2013 *Chin. J. Radio Sci.* **28** 810 (in Chinese) [姜文, 张扬, 洪涛, 邓兆斌 2013 电波科学学报 **28** 810]
- [24] Hong T, Jiang W, Gong S X, Liu Y 2012 *J. Electromagnet. Waves Appl.* **26** 1947
- [25] Jiang W, Hong T, Gong S X 2013 *Int. J. Antenna Propag.* **2013** 735847
- [26] Pan W B, Cheng H, Chen P, Ma X L, Hu C G, Luo X G 2014 *IEEE Trans. Antennas Propag.* **62** 945

A novel circularly polarized patch antenna with low radar cross section and high-gain*

Cong Li-Li¹⁾ Fu Qiang²⁾ Cao Xiang-Yu^{1)†} Gao Jun¹⁾ Song Tao²⁾ Li Wen-Qiang¹⁾
Zhao Yi¹⁾ Zheng Yue-Jun¹⁾

1) (Information and Navigation College, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

2) (Air and Missile Defense College, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China)

(Received 14 May 2015; revised manuscript received 8 July 2015)

Abstract

A novel circularly polarized patch antenna, which can achieve low radar cross section (RCS) and high gain performance simultaneously, is designed on the basis of metamaterial superstrate. The novelty of the design is that this antenna can possess the absorbing characteristic and the partially reflective characteristic simultaneously in an integrated structure. The proposed superstrate is composed of two metallic layers with different periodic patterns on both sides of a dielectric substrate. Through constructing different metallic patterns on the two sides of the superstrate, the upper and bottom surfaces of the superstrate will have different transmission and reflection performances when illuminated by an incident plane wave. The low RCS characteristic is dependent on the upper surface, while the gain enhancement of the resonator antenna relies on the reflection coefficient of the bottom surface. The upper surface consisting of a periodic metallic square loop with four lumped resistances on the four sides of the loop is of low reflection and transmission, and the bottom surface composed of a metallic plane with periodic slots is of high reflection and low transmission. When the superstrate is located at approximately half a wavelength above the ground plane of the circularly polarized patch antenna, the upper surface will absorb most of the incident wave by converting the electromagnetic wave into heat as Ohm loss to reduce the antenna RCS, and the bottom surface will form a Fabry-Perot resonance cavity with the ground plane of the antenna to achieve high gain and high directivity by multiple reflections between the bottom surface and the ground plane. The measured results show that with using the superstrate, the relative axial ratio bandwidth of the circularly polarized patch antenna extends from 5.9% to 7.1%, and the high gain performance is achieved in the whole working frequency band, which can be enhanced by 6.61 dB at most. Meanwhile, the RCS of the proposed antenna is dramatically reduced in a wide angle range and a broad frequency band covering a range from 2 to 14 GHz. The measured results are in good agreement with the simulated ones, which further verifies the correctness and effectiveness of the proposed method.

Keywords: metamaterial, circular polarization, radar cross section, Fabry-Perot resonance cavity

PACS: 42.70.Qs, 41.20.Jb, 42.25.Bs

DOI: 10.7498/aps.64.224219

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 61271100, 61471389), the Natural Science Foundation of Shaanxi Province, China (Grant No. 2012JM8003), and the Doctoral Innovation Foundation of Information and Navigation College of Air Force Engineering University, China (Grant No. KGD103201402).

† Corresponding author. E-mail: gjg9694@163.com