

文章编号: 2095-4980(2023)03-0349-04

基于基片集成同轴线的双馈点圆极化天线

周 玥, 刘 冰, 王唯伟, 孙兴凯

(南京航空航天大学 电子信息工程学院, 江苏 南京 211106)

摘 要: 提出了一种采用基片集成同轴线(SICL)馈电的双馈点圆极化微带贴片天线。具体通过多馈点法实现圆极化, 并通过背腔加载提高增益, 增加带宽, 减小后瓣, 降低互耦, 提高天线性能。经过仿真验证, 该天线能够在 42.42~56.69 GHz 之间实现 $S_{11} < -10$ dB(相对带宽为 28.8%@51 GHz), 在 45.26~48.08 GHz 之间实现轴比小于 3 dB, 最大增益 8.9 dBi。

关键词: 圆极化; 多馈点法; 基片集成同轴线; 贴片天线

中图分类号: TN821⁺.1

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2020712

An SICL-based dual-feed circularly polarized cavity-backed patch antenna

ZHOU Yue, LIU Bing, WANG Weiwei, SUN Xingkai

(College of Electronic Information Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing Jiangsu 211106, China)

Abstract: A dual-feed circularly polarized patch antenna based on Substrate Integrated Coaxial Line(SICL) feed is proposed. Dual-feed point method is utilized to realize circular polarization. With the backed cavity, the antenna performance, for example, the bandwidth, the back lobe, the mutual coupling and the structure miniaturization, has been improved. Simulation results show that the antenna can achieve $S_{11} < -10$ dB(relative bandwidth is 28.8%@51 GHz) at 42.42~56.69 GHz, and the axial ratio is less than 3 dB and the maximum gain is 8.9 dBi at 45.26~48.08 GHz.

Keywords: circularly polarized; dual-feed method; Substrate Integrated Coaxial Line(SICL); patch antenna

圆极化(Circular Polarization, CP)贴片天线具有低剖面, 抑制多径干扰, 减少极化失配等优点, 非常适合雷达、卫星通信等应用^[1]。单馈法和多馈法是实现贴片天线的圆极化的两种常见方式^[2]。单馈法的主要优点是结构简单, 但其圆极化带宽很窄, 增益较低^[3]; 多馈法最常见的是双馈法, 具有较宽频带, 缺点是馈电结构复杂, 而且增大了损耗^[4-6]。基片集成同轴线(SICL)是在基片集成波导结构(Substrate Integrated Waveguide, SIW)基础上提出的一种新型的宽带、无色散的平面传输结构, 具有低电磁辐射、低插入损耗、结构紧凑、易于平面集成等优点。通过简单的印刷电路板(Printed Circuit Board, PCB)技术就可以加工实现, 适合大规模生产^[7]。

本文设计了一种中心工作频率为 51 GHz 基片集成同轴线馈电的圆极化微带贴片天线, 采用双馈点法实现圆极化, 通过简化馈电结构, 不仅缩小了天线尺寸, 减小了损耗, 还增加了天线带宽, 提高了增益。

1 天线的设计及参数的优化分析

1.1 天线的结构设计

图 1 为该圆极化天线的尺寸结构图, 图 1(a)为顶层视图, 图 1(b)为中间层视图, 图 1(c)为侧视图。该天线采用标准的多层 PCB 工艺制造, 上下层金属板为厚度为 0.035 mm 的铜板, 介质板为厚度为 0.254 mm 的 Rogers 5880 (损耗角正切为 0.000 9, 介电常数为 2.2), 粘合层为厚度为 0.1 mm 的 Taconic FR-27(损耗角正切为 0.03, 介电常数为 2.75)。天线尺寸参数如表 1 所示。将 SICL 和多点馈电相结合, 在 SICL 的内导体上串联两个馈电点, 相邻的两个馈电点距离是四分之一波长, 提供幅度相等的正交馈电, 从而实现圆极化。方环型槽为空气槽, 通过增加空气槽产生新谐振, 扩展带宽^[8]。通过在矩形贴片周围加载背腔, 提高天线带宽和增益。通过在金属内导体上切 45°角, 优化内导体的不连续性, 减小插入损耗, 扩大天线的工作带宽。

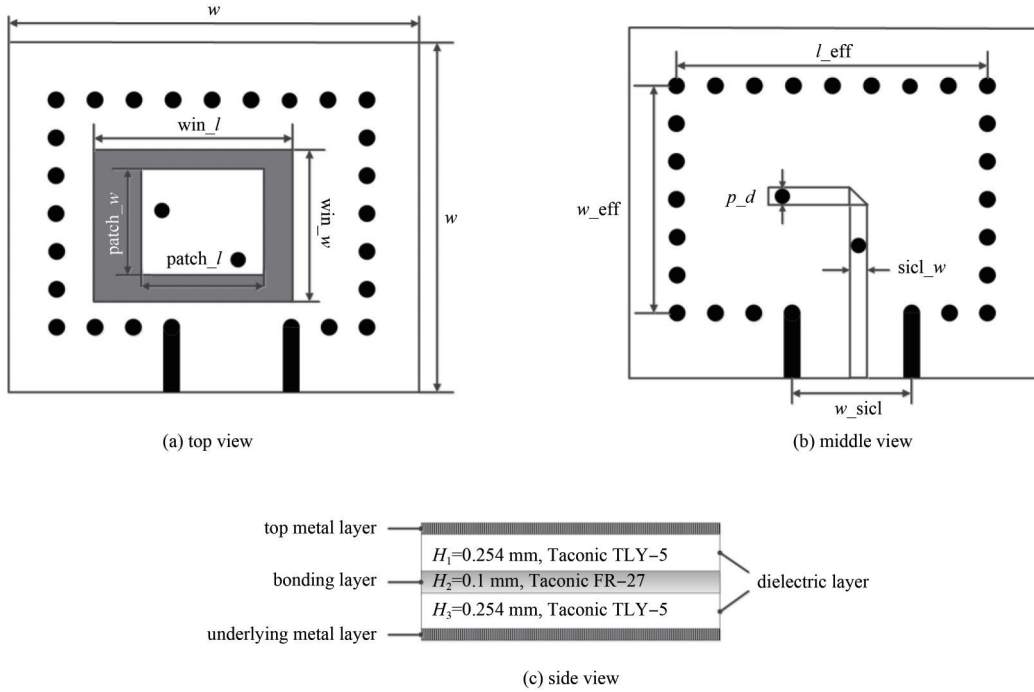


Fig.1 Basic structure of the antenna
图 1 天线结构图

表 1 天线单元的尺寸参数(单位:mm)

Table 1 Parameters of the antenna element(unit:mm)

w	l_{eff}	w_{eff}	win_l	win_w	$patch_l$	$patch_w$	p_d	$sicl_w$	w_{sicl}	via_d	via_p
5.60	4.75	3.50	3.14	3.00	1.84	1.70	0.20	0.40	1.40	0.30	0.55

1.2 主要参数分析

1.2.1 贴片尺寸灵敏度分析

天线的工作频率由贴片的尺寸决定。如图 2、图 3 所示，反射系数带宽中有 2 个谐振频点，随着贴片长度(patch_l)的减小，2 个谐振频点向高频偏移，轴比带宽近似不变。如图 4、图 5 所示，随着贴片宽度(patch_w)的减小，轴比带宽随之增大，反射系数(S_{11})带宽不变，但 47 GHz 时 S_{11} 会向上偏移。综合图 2~图 5 和考虑加工时的误差，同时满足 $S_{11} < -10$ dB 以及轴比(axial ratio) < 3 dB，选择贴片长为 1.84 mm，宽为 1.7 mm。

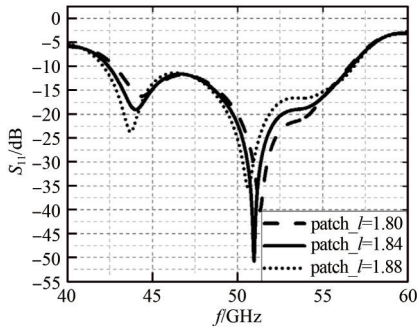


Fig.2 Effect of parameter $patch_l$ on S_{11}
图 2 参数 $patch_l$ 对反射系数的影响

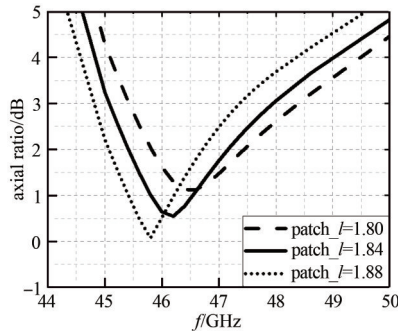


Fig.3 Effect of parameter $patch_l$ on axial ratio
图 3 参数 $patch_l$ 对轴比的影响

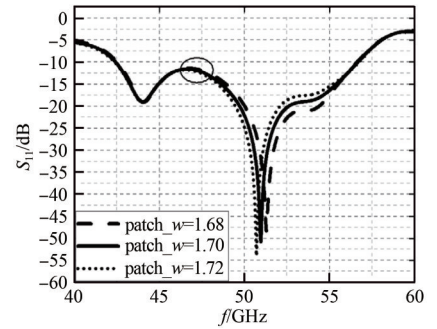


Fig.4 Effect of parameter $patch_w$ on S_{11}
图 4 参数 $patch_w$ 对反射系数的影响

1.2.2 背腔尺寸灵敏度分析

如图 6、图 7 所示， l_{eff} 主要影响反射系数的带宽和轴比的工作频率。随着 l_{eff} 的减小，轴比的工作频率向高频偏移，带宽变化不大。如图 8、图 9 所示， w_{eff} 对反射系数影响不大，对轴比带宽影响较大。综合图 6~图 9，在 $l_{eff}=4.7, w_{eff}=3.5$ 时，反射系数的带宽和轴比带宽取得最大值。

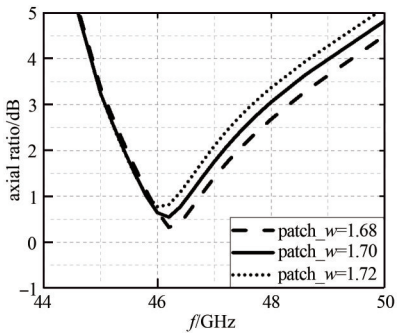


Fig.5 Effect of parameter patch_w on axial ratio
图 5 参数 patch_w 对轴比的影响

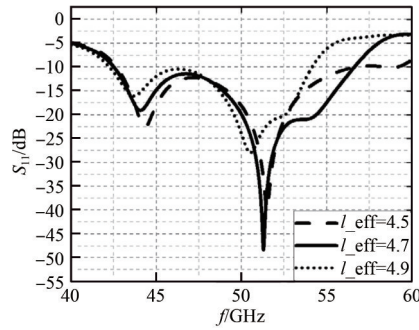


Fig.6 Effect of parameter l_{eff} on S_{11}
图 6 参数 l_{eff} 对反射系数的影响

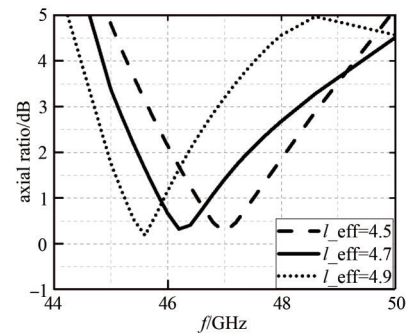


Fig.7 Effect of parameter l_{eff} on axial ratio
图 7 参数 l_{eff} 对轴比的影响

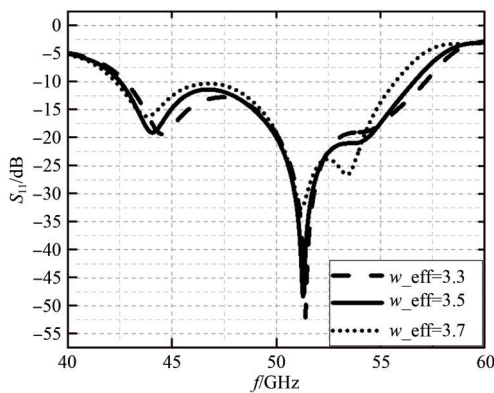


Fig.8 Effect of parameter w_{eff} on S_{11}
图 8 参数 w_{eff} 对反射系数的影响

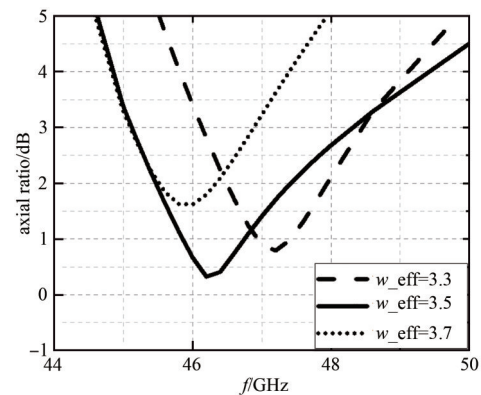


Fig.9 Effect of parameter w_{eff} on axial ratio
图 9 参数 w_{eff} 对轴比的影响

1.3 仿真结果

图 10 为最终优化后的天线的反射系数和增益，在 42.42~56.69 GHz 频率范围内，反射系数 $S_{11} < -10$ dB，天线效率大于 90%，相对带宽为 28.8%。在 49.47~56.69 GHz 频率范围内，天线的增益均大于 8.5 dBi，在 56.3 GHz 时取得最大增益 8.9 dBi。图 11 为天线的圆极化轴比参数，在 45.26~48.08 GHz 频率范围内，轴比均小于 3 dB，轴比带宽为 6%。图 12 为仿真天线在中心频率 51 GHz 的方向图。

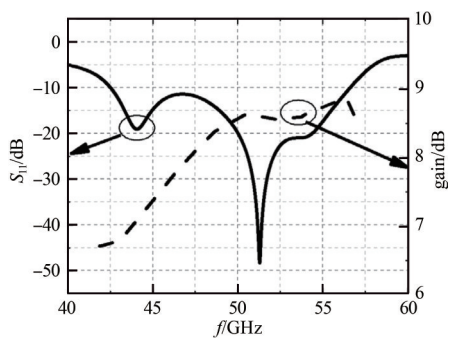


Fig.10 Simulated return loss characteristics and gain of the antenna
图 10 仿真天线的反射系数和增益

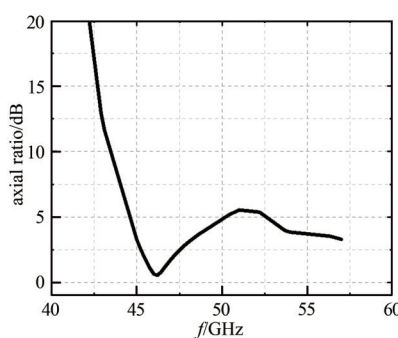


Fig.11 Simulated axial ratio of the antenna
图 11 仿真天线的圆极化轴比

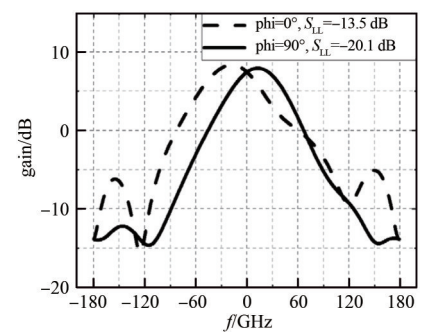


Fig.12 Radiation pattern of the antenna at 51 GHz
图 12 仿真天线中心频率 51 GHz 的方向图

如表 2 所示，相对于传统的圆极化贴片天线单元，本文采用基片集成同轴线馈电、多馈点法等技术，有效地减小了插入损耗，使天线的阻抗带宽、轴比带宽、增益得到了显著提高。

表 2 传统背腔圆极化天线与本文设计天线的性能比较
Table 2 Comparison among reference antennas and this work

	impedance bandwidth $ S_{11} < -10$ dB	axial ratio < -3 dB	maximum gain/dBi
Ref.[9]	15.0%@12 GHz	4.30%	5.5
Ref.[10]	10.5%@10 GHz	2.06%	5.2
this paper	28.8%@51 GHz	6.00%	8.9

2 结论

本文设计了一种基片集成同轴线馈电的双馈点圆极化微带贴片天线。通过 SICL 串联 2 个馈电点对贴片进行馈电, 通过 2 个馈电点相距四分之一波长形成 90° 相位差以产生圆极化。综合运用背腔、贴片、低介电常数介质、基片集成同轴线馈电、多点馈电等技术, 使得该天线的工作带宽得以拓宽, 并在设计频段内获得良好的增益和轴比。所设计的天线中心频率为 51 GHz, 阻抗带宽为 28.8%, 轴比带宽为 6%, 最大增益为 8.9 dBi。

参考文献:

- [1] 夏飞扬. 毫米波宽带圆极化波束扫描天线阵研究[D]. 成都:电子科技大学, 2020. (XIA Feiyang. Investigation of millimeter-wave wideband circular polarized beam scanning antenna array[D]. Chengdu, China: University of Electronic Science and Technology of China, 2020.)
- [2] CHEN Z N, LIU D X, NAKANO H, et al. Handbook of Antenna Technologies[M]. Singapore: Springer, 2016: 1082–1085.
- [3] HANEISHI M, NAMBARA T, YOSHIDA S. Study on ellipticity properties of single-feed-type circularly polarised microstrip antennas[J]. Electronics Letters, 1982, 18(5): 191–193.
- [4] ALJIBOURI B, LIM E G, EVANS H, et al. Multiobjective genetic algorithm approach for a dual-feed circular polarised patch antenna design[J]. Electronics Letters, 2000, 36(12): 1005–1006.
- [5] NARBUDOWICZ A, BAO X, AMMANN M J. Dual circularly-polarized patch antenna using even and odd feed-line modes[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2013, 61(9): 4828–4831.
- [6] 杨文君. 宽带圆极化微带天线和介质谐振器天线研究[D]. 郑州: 信息工程大学, 2013. (YANG Wenjun. Research on broadband circularly polarized microstrip antenna and dielectric resonator antenna[D]. Zhengzhou, China: Information Engineering University, 2013.)
- [7] GATTI F, BOZZI M, PERREGRINI L, et al. A novel Substrate Integrated Coaxial Line(SICL) for wide-band applications[C]// 2006 European Microwave Conference. Manchester, UK: IEEE, 2006: 1614–1617.
- [8] HONG Y, TAK J, CHOI J. An all-textile SIW cavity-backed circular ring-slot antenna for WBAN applications[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2016(15): 1995–1999.
- [9] GUAN D, FANG B, ZHANG Y, et al. Broadband SIW cavity-backed circularly polarized antenna element and array[C]// 2015 IEEE International Wireless Symposium(IWS 2015). Shenzhen, China: IEEE, 2015: 1–4.
- [10] HUANG J Q, QIU F, JIANG C Z, et al. Compact circularly polarized SIW cavity-backed antenna based on slot SRR[C]// 2015 Asia-Pacific Microwave Conference(APMC). Nanjing, China: IEEE, 2015: 2162–2164.

作者简介:

周 玥(1994–), 女, 硕士, 主要研究方向为毫米波阵列天线设计、圆极化天线设计. email: yuezhoh@nuaa.edu.cn.