

星载 L 波段宽带高增益圆极化微带天线设计

隋 涛,邢斯瑞,孙 伟,安向东

(长光卫星技术有限公司,吉林 长春 130000)

摘 要: 针对卫星 L 波段通信转发系统的要求,设计了一种新型星载 L 波段宽带高增益圆极化微带天线。微带天线整体采用侧馈的馈电方式,采用 H 型缝隙耦合馈电方式以实现宽频带,采用威尔金森移相功分器实现两信号间相位差来满足圆极化,增加天线背部反射板和板间泡沫层以提高增益并稳固结构。通过电磁仿真软件分析可得:在中心频点 1.45 GHz 处增益为 8.3 dBi,轴比为 0.7 dB,增益大于 7.5 dBi 且回波损耗小于 -10 dB 时相对带宽为 23.5%。天线加工实测结果与仿真结果基本一致,对 L 波段无线通信系统设计有一定指导意义。

关键词: 缝隙耦合馈电;宽频带;高增益;圆极化;微带天线

中图分类号: TN82

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.212186

中文引用格式: 隋涛,邢斯瑞,孙伟,等. 星载 L 波段宽带高增益圆极化微带天线设计[J]. 电子技术应用, 2022, 48(1): 138-141, 151.

英文引用格式: Sui Tao, Xing Sirui, Sun Wei, et al. Design of L-band wideband high-gain circularly-polarized microstrip antenna for satellite communication system[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(1): 138-141, 151.

Design of L-band wideband high-gain circularly-polarized microstrip antenna for satellite communication system

Sui Tao, Xing Sirui, Sun Wei, An Xiangdong

(Chang Guang Satellite Technology Co., Ltd., Changchun 130000, China)

Abstract: In response to the requirements of satellite L-band communication and forwarding systems, a novel type of satellite-borne L-band broadband high-gain circularly polarized microstrip antenna is designed. The microstrip antenna adopts a side-fed feeding method as a whole, adopts an H-shaped slot coupling feeding method to achieve a wide frequency band, and uses a Wilkinson phase shift power splitter to achieve the phase difference between the two signals to meet the circular polarization, and add the antenna back reflector and foam layer between the boards to increase gain and stabilize the structure. Through the analysis of electromagnetic simulation software, it can be obtained that the gain is 8.3 dBi at the center frequency point of 1.45 GHz, the axial ratio is 0.7 dB, the relative bandwidth is 23.5% when the gain is greater than 7.5 dBi and the return loss is less than -10 dB. The actual measurement results of the antenna processing are basically consistent with the simulation results, which have certain guiding significance for the design of the L-band wireless communication system.

Key words: slot-coupled feed; wideband; high-gain; circularly-polarized; microstrip antenna

0 引言

随着科技的不断进步,无线通信领域已经在卫星制造中占据了无可取代的位置。其中,卫星互联网概念的提出^[1-2]使得通信卫星在近几年正在飞速发展,而天线作为无线通信中关键的一环,其设计满足系统的优良性能及功能显得格外关键^[3-6]。本文依托吉林一号卫星网络,提出了一款星载 L 波段宽带高增益圆极化微带天线,可以作为低频段通信转发载荷的一部分,以完成卫星通信信号无线传输的任务。

为了在微带天线中实现低频段大带宽,前人已经做了大量工作,例如:文献[7]中设计了一种双层矩形贴片

的层叠结构以展开天线带宽,阻抗相对带宽达到 10%,频带内增益大于 6 dB;文献[8]中设计了一款用于全球定位系统的圆极化微带天线,采用电容耦合探针馈电增加阻抗带宽,采用共面寄生贴片提高圆极化带宽,峰值增益达到 8 dBi;文献[9]中设计了一种 4 段扇形天线组成的采用一分四功率分配器芯片实现宽带圆极化的天线,并采用电磁带隙结构作为高阻抗表面以实现天线能量定向辐射;文献[10]中设计了一款环形槽缝隙耦合馈电的双层微带天线,实现了 17.6% 的驻波相对带宽,且带宽内增益大于 7.2 dBi。除此之外,还有人采用电磁超材料或法布里-珀罗谐振腔设计以提高带宽^[11-12]。

本文所设计天线工作在 L 波段,采用 H 形槽缝隙耦合馈电设计以展宽频带,采用威尔金森移相功分器实现馈电网络相位差以满足圆极化设计,采用金属背板以提高天线增益,在各层板间填充聚甲基丙烯酸酯(Poly-methacrylimide, PMI)泡沫以固定天线整体结构,天线整体具备良好性能。在后续吉林一号卫星组网阶段,此天线可为通信转发载荷提供无线保障,同时也为低频段宽带高增益天线提供一种设计思路。

1 天线设计与仿真

1.1 H 形缝隙单元

微带天线是一种谐振式天线,其谐振特性类似高 Q 值并联谐振电路,所以微带天线的阻抗频带较窄,相对带宽一般只有 2% 左右。而根据任务指标本文所设计天线相对带宽需要达到 7%,故为了降低天线 Q 值,提高天线带宽,本文采用了缝隙耦合馈电的方法。

缝隙耦合馈电一般为双层结构,天线的辐射贴片位于上层介质板上表面,缝隙单元位于下层介质板上表面,馈电网络位于下层介质板下表面。天线能量通过微带线馈入下层介质板后再经缝隙耦合的方式对辐射贴片进行激励,不同的缝隙形状对耦合强度的影响不同,增加缝隙尺寸可以提高能量耦合,但后向辐射也会随之加强。因此,为了可以获得较大耦合量和较小的开槽面积,本文采取了 H 形缝隙开槽形状。

H 形缝隙单元结构如图 1 所示,这里介质板选用 F4BM265,介电常数为 2.65,厚度为 1 mm。在介质板上表面整面敷铜的基础上进行 H 形缝隙开槽,采用双 H 形正交排列的目的是实现介质板下表面馈线网络中双馈点激励,进而实现圆极化。其中各个尺寸数值如下: $m_0=1.8$ mm, $m_1=20$ mm, $m_2=29$ mm, $m_3=38$ mm, $m_4=17$ mm, $l_1=100$ mm, $l_2=100$ mm。

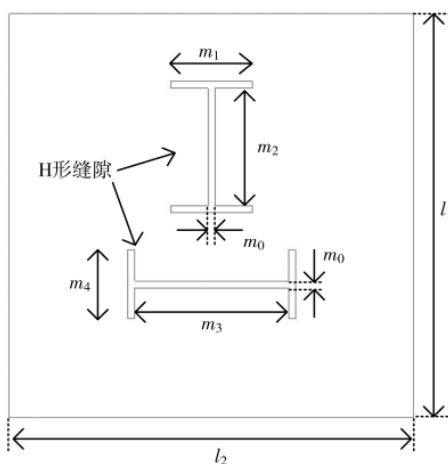


图 1 H 形缝隙单元结构

1.2 馈电网络单元

天线整体的馈电网络单元位于下层介质板下表面,具体的结构如图 2 所示。由于双馈法可以展宽天线的阻

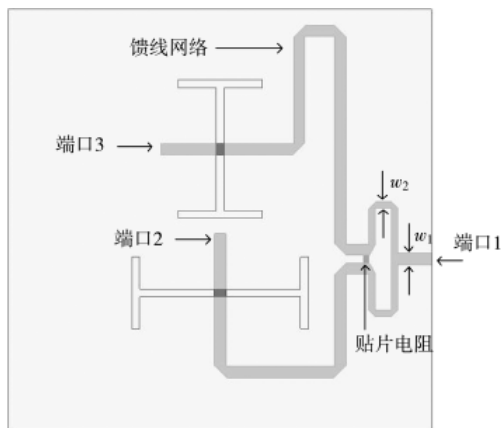


图 2 馈电网络单元结构

抗带宽和轴比带宽,故馈电网络采用双馈法馈电,信号能量通过端口 1 馈入微带线,经威尔金森移相功分器后在端口 2 与端口 3 通过 H 形缝隙单元结构进行向上辐射。结构中具体尺寸为 $w_1=2.6$ mm, $w_2=1.5$ mm,贴片电阻阻值为 100 Ω 。

馈电网络采用的是威尔金森移相功分器,其作用一是两输出端电长度相差约四分之一波长,两端口可以输出相位差为 90°、幅度相等的线极化波以合成圆极化波;作用二是与简单功分器相比,其加入了隔离电阻,提高了端口 2 与端口 3 之间的隔离度,进而提高天线性能。

对馈电网络进行仿真分析,其结果如图 3、图 4 所示。图 3 为馈电网络的传输损耗,可以看出在 f_0 (中心频率 $f_0=1.45$ GHz) 处 S21、S31 在 -3.3 dB 左右,曲线整体波动不超过 0.2 dB,功率分配特性较好。图 4 为馈电网络的相位差,在 f_0 处 S21 与 S31 相位差为 90°,端口 2 相位超前端口 3 相位 90°,天线整体辐射右旋圆极化波。

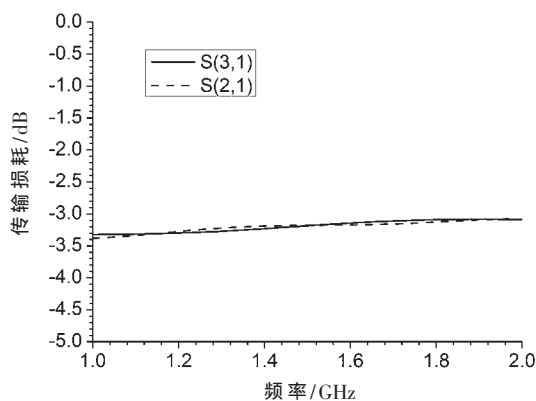


图 3 馈电网络传输损耗

1.3 天线整体结构

本文所设计天线整体结构如图 5、图 6 所示,从上至下依次为辐射层板、上层泡沫板、馈电层板、下层泡沫板、金属底板。结构中具体尺寸为 $l_p=70$ mm, $h_1=1$ mm, $h_2=1$ mm, $h_3=2$ mm, $h_4=15$ mm, $h_5=15$ mm。

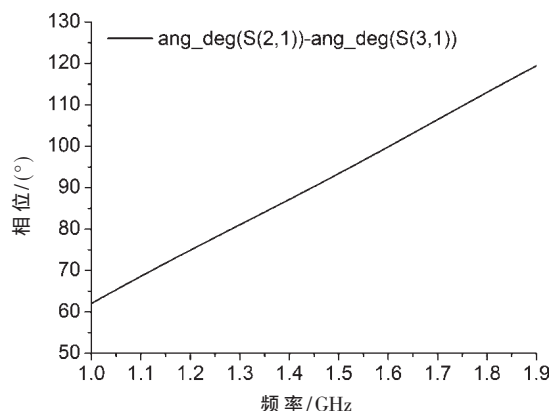


图4 馈电网络相位差

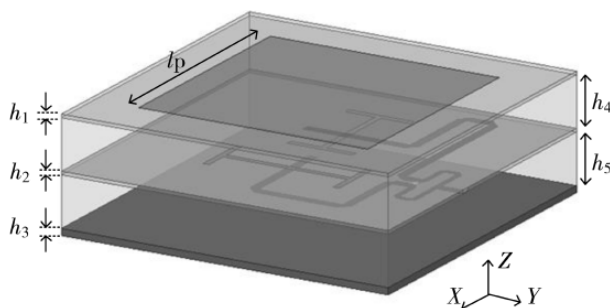


图5 天线整体结构(立体图)



图6 天线整体结构(侧视图)

最上方辐射层板选用 F4BM265, 大小为 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm}$, 厚度为 1 mm 。辐射贴片位于板子上表面, 贴片采用正方形结构, 边长约为 f_0 在介质板中相对波长的二分之一。

上层泡沫板与下层泡沫板选用 PMI 泡沫, 厚度皆为 15 mm 。PMI 泡沫具有如下优点: 优异的力学性能, 比强度高, 比模量高, 用于固定上下板子, 起到支撑的作用, 防止天线整体结构在振动过程中变形受损; 优良的介电性能, 介电常数为 1.17 , 损耗角正切 0.004 , 在 $2\text{ GHz} \sim 26\text{ GHz}$ 具有很好的宽频稳定性, 对天线辐射性能几乎没有影响; 耐热性能好, 热变形温度为 $180 \sim 240\text{ }^\circ\text{C}$, 可以适应太空中复杂的温度环境。

最下方的金属底板材料为铝, 厚度为 2 mm 。信号在馈电网络中传输时, 主要的能量通过 H 形缝隙单元向上辐射, 也有少部分能量向下方辐射。如果在馈电层板下方不放置金属底板, 则天线方向图背瓣偏高, 前后比变小, 辐射性能变差; 而放置金属底板后, 向下辐射的能量传到金属板后会进行反射, 天线增益得到提高, 前后比变大, 辐射性能变好。

利用仿真软件进行建模仿真, 天线回波损耗仿真图如图 7 所示, 天线匹配性能良好, 在 f_0 处回波损耗为 -14.8 dB , 10 dB 带宽为 $1.1\text{ GHz} \sim 1.68\text{ GHz}$, 共 0.58 GHz , 相对带宽为 41.7% 。

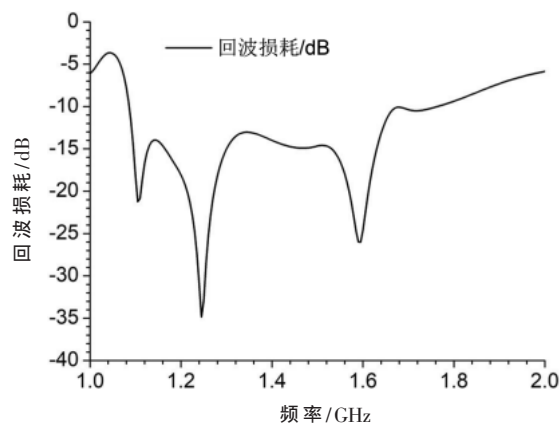


图7 天线回波损耗

天线在 f_0 处方向图仿真图如图 8 所示, 可以看出天线主极化为右旋圆极化, 交叉极化为左旋圆极化。在法向方向(角度为 0°)时增益为 8.3 dBi (满足设计指标 7.5 dBi), 半功率波束宽度为 70.8° , 天线整体辐射性能良好。

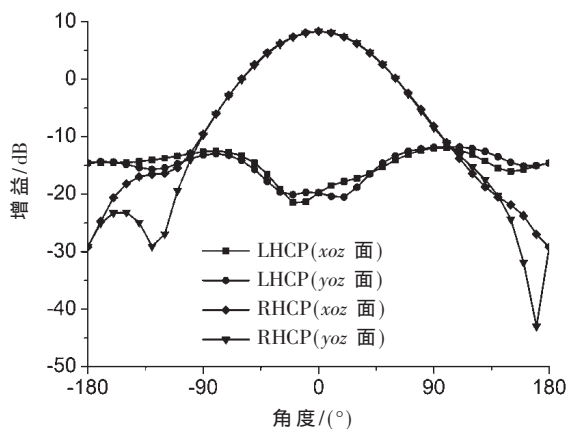


图8 天线方向图($f=f_0$)

天线在 f_0 处轴比仿真图如图 9 所示, 法向方向(角度为 0°)轴比为 0.7 dB , 半功率波束宽度内轴比小于 3 dB , 圆极化性能良好。

天线增益随频率变化仿真图如图 10 所示, 可以看出当天线增益大于 7.5 dBi 且回波损耗小于 -10 dB 时的带宽为 $1.2\text{ GHz} \sim 1.52\text{ GHz}$, 共 0.32 GHz , 相对带宽为 23.5% , 天线具备宽带高增益性能。

2 实物加工与测试

按照仿真设计对天线进行实物加工, 实物照片如图 11 所示, 天线整体尺寸为 $100\text{ mm} \times 100\text{ mm} \times 34\text{ mm}$, 每层板四角进行打孔处理, 通过 4 根螺钉进行板间连接固定。

对天线实物进行测试, 实测回波损耗和方向图与仿

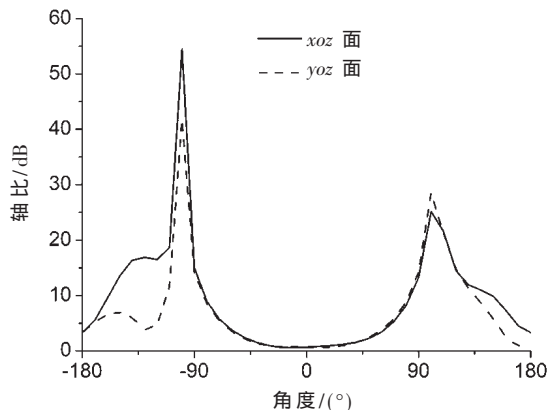
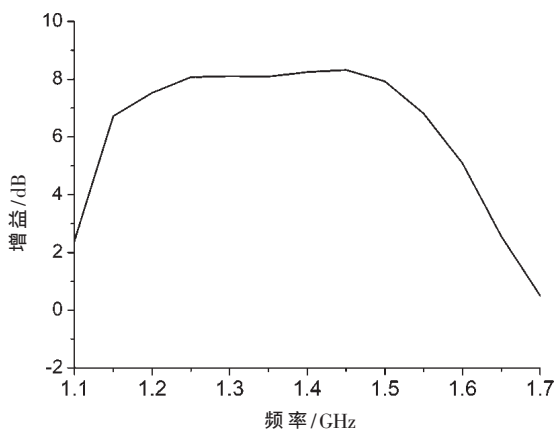
图9 天线轴比 ($f=f_0$)

图10 天线增益随频率变化图

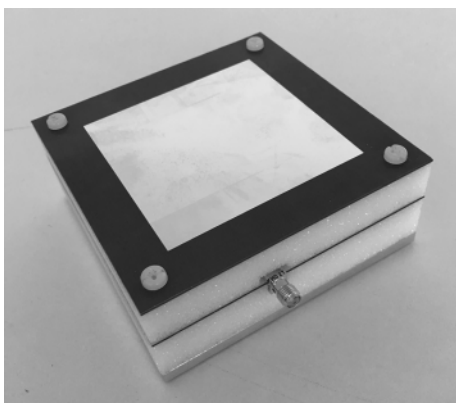


图11 天线实物图

真值对比图如图12、图13所示。回波损耗方面在 f_0 处为-13.4 dB, 10 dB带宽为1.13 GHz~1.84 GHz, 与仿真结果基本吻合, 天线阻抗匹配良好。方向图方面在法向方向增益为8 dBi, 整体辐射性能良好, 与仿真结果相比, 天线增益略有下降, 可能是由测试误差或加工误差导致。

3 结论

本文设计了一种星载L波段宽带高增益圆极化多层微带天线。天线采用威尔金森功分移相器通过H形缝隙耦合进行馈电, 结构上采用PMI泡沫和金属底板进行支撑固定以满足力学要求并提高天线增益。天线经过

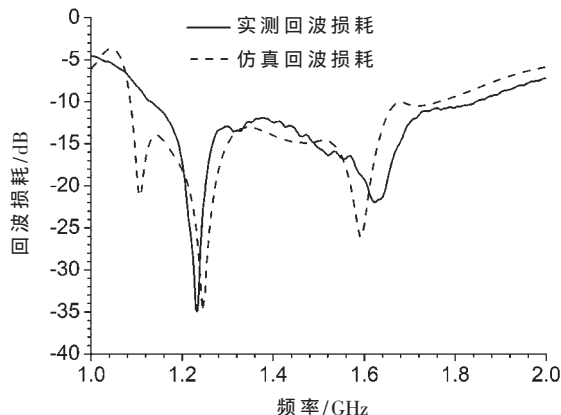


图12 天线回波损耗实测值与仿真值对比

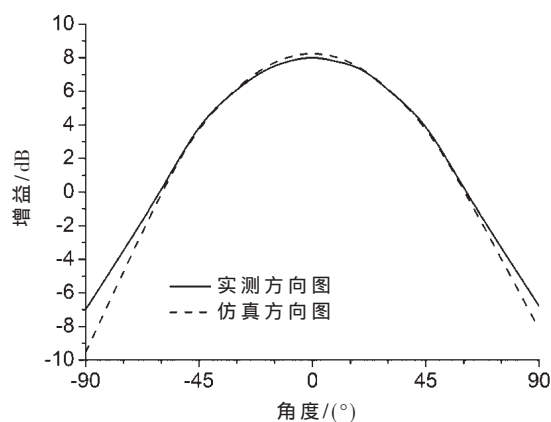


图13 天线方向图实测值与仿真值对比

加工测试可以发现, 其测试结果与仿真结果基本一致, 设计符合要求。该天线可应用于星载L波段无线通信系统中, 对星载低频段大带宽天线设计具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 柏亮. 卫星互联网的技术体系, 发展趋势与应用[J]. 通信电源技术, 2020, 37(7): 187-189.
- [2] 宋昊, 王彤, 马鑫. 低轨卫星互联网现状及其建议[J]. 中国新通信, 2020, 22(19): 65-67.
- [3] CLENET M, TAROT A C, SHARAIHA A, et al. Printed circularly polarized antenna for IMT-2000 satellite communications[J]. Microwave & Optical Technology Letters, 2015, 18(3): 161-166.
- [4] SINGH P, RAY K, RAWAT S. Design of nature inspired broadband microstrip patch antenna for satellite communication[J]. Advances in Nature and Biologically Inspired Computing, 2016, 419: 369-379.
- [5] IIDA T. Satellite communications antenna concepts and engineering[M]. Handbook of Satellite Applications, 2017: 511-534.
- [6] 刘萍. 通信卫星天线的现状与发展趋势[J]. 通讯世界, 2016(12): 113.

(下转第151页)

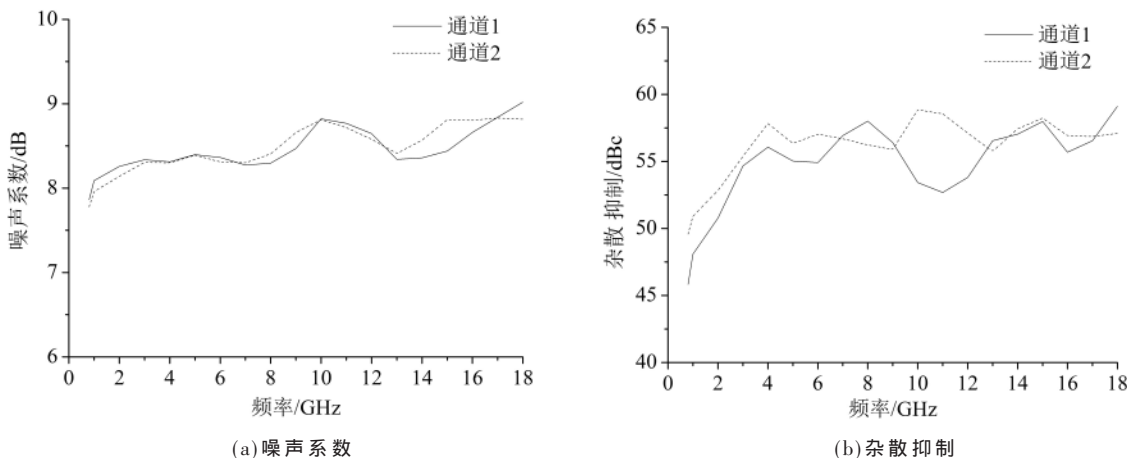


图9 噪声系数和杂散抑制测试结果

参考文献

[1] 余高干.0.4~18 GHz 超宽带雷达接收前端小型化的研究[D].成都:电子科技大学,2015.

[2] 卢建平.超宽带大动态雷达接收机设计[D].西安:西安电

(上接第 141 页)

[7] 秦文奕.单馈点宽带圆极化微带天线设计[J].通信技术, 2013(8): 34-36.

[8] FU S, KONG Q, FA N S, et al. Broadband circularly polarized microstrip antenna with coplanar parasitic ring slot patch for L-band satellite system application[J]. IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, 2014, 13: 943-946.

[9] BABAKHANI B, SHARMA S K. Wideband circularly polarized fan-shaped antenna on a HIS structure[C]//2016 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting. IEEE, 2016.

[10] Nasimuddin, QING X. A wideband high gain circularly polarized antenna for satellite applications[C]//2019 IEEE

(上接第 145 页)

[8] 戴新峰, 郁元卫, 贾世星, 等. Ka 波段 Si 基微机械宽带垂直过渡[J]. 微纳电子技术, 2008, 45(12): 712-715.

[9] 王辉. Ka 波段微带到带状线垂直互联技术研究[C]//全国天线年会论文集(上册), 2017. 中国电子学会, 2017.

[10] 王勇, 韦伟, 杨栋, 等. 基于硅转接板工艺的宽带射频芯片三维异构集成[J]. 东南大学学报(英文版), 2021, 37(1): 8-13.

[11] 罗江波. 高性能硅转接板的系统设计及集成制造方法研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2019.

[12] LIN Y J, KANG C, CHUA L, et al. Advanced 3D eWLB-PoP(embedded wafer level ball grid array-package on package) technology[C]//Proceedings of the 66th Electronic Components and Technology Conference. Las Vegas, NV, USA, 2016: 1772-1777.

子科技大学, 2009.

[3] 刘民伟. 10 MHz~12 GHz 超宽带接收机的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2013.

(下转第 156 页)

Asia-Pacific Microwave Conference (APMC). IEEE, 2019.

[11] 许碧惠. 超材料电磁特性分析及其在平面宽带天线中的应用[D]. 成都: 电子科技大学, 2020.

[12] 秦开元. 宽带高增益圆极化天线设计[D]. 泉州: 华侨大学, 2018.

(收稿日期: 2021-09-24)

作者简介:

隋涛(1994-), 通信作者, 男, 硕士, 工程师, 主要研究方向: 卫星数据传输无线系统设计, E-mail:

suitao214@163.com。

邢斯瑞(1987-), 男, 硕士, 研究员, 主要研究方向: 卫星通信系统设计。

孙伟(1989-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向: 卫星通信系统设计。



扫码下载电子文档

[13] LEE J Y, LEE S K, PARK J H. Fabrication of void-free copper filled through-glass-via for wafer-level RF MEMS packaging[J]. Electronics Letters, 2012, 48(17): 1076-1077.

[14] 王清源, 吴洪江, 赵宇, 等. 一种基于 MEMS 体硅工艺的三维集成 T/R 模块[J]. 半导体技术, 2021, 46(4): 300-304, 336.

(收稿日期: 2021-06-30)

作者简介:

游月娟(1998-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 射频微系统与先进封装技术。

刘德喜(1973-), 男, 硕士, 研究员, 主要研究方向: 微波毫米波电路设计。

刘亚威(1986-), 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向: 微波毫米波电路设计、微系统及先进工艺研发。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所