

文章编号:1001-893X(2012)09-1513-05

基于 LTCC 的 S 频段新型耐高温天线设计*

刘秀祥,秦永强,赵 良,曾贵明

(北京临近空间飞行器系统工程研究所,北京 100076)

摘 要:基于低温共烧陶瓷(LTCC)技术与传统的贴片天线,设计了一种 S 频段新型耐高温天线。该天线充分发挥了 LTCC 材料良好的耐高温性能,能够承受的最高温度可达 400℃左右。通过两层耦合贴片的设计方法,使天线可以工作在一个较宽的频率范围内,解决了高介电常数引起的窄带工作和高温导致的谐振频率偏移问题。同时,微带馈线部分通过阶梯阻抗变换,降低了天线的回波损耗,提高了端口的匹配效率。仿真结果表明,当天线工作的中心频率为 2.67 GHz、工作环境温度为 25℃到 400℃时,可用带宽为 100 MHz,且辐射方向性稳定。

关键词:S 频段天线;耐高温;低温共烧陶瓷;耦合贴片

中图分类号:TN821 文献标志码:A doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2012.09.019

Design of an S-band Novel High Temperature Antenna Based on LTCC

LIU Xiu-xiang, QIN Yong-qiang, ZHAO Liang, ZENG Gui-ming

(Beijing Institute of Nearspace Vehicle's Systems Engineering, Beijing 100076, China)

Abstract: An S-band novel high temperature antenna is presented based on low temperature co-fired ceramic (LTCC) and conventional patch antenna. The maximum temperature which the antenna can withstand is about 400℃ via the good temperature performance of LTCC material. With two layers of coupled patches antenna can operate in broad bandwidth, which solves the problems of narrow bandwidth and resonant frequency offset. By stepped impedance transformer, the return loss is reduced and the match efficiency is improved. Simulation results show that the antenna bandwidth is 100 MHz and the radiation pattern is stable, when the operating frequency is 2.67 GHz and the temperature range is from 25℃ to 400℃.

Key words: S-band antenna; high temperature; low temperature co-fired ceramic; coupled patch

1 引 言

随着现代通信系统的快速发展,作为收发设备的天线也取得了长足的进步。天线设计正在朝着小型化、宽带化不断推进,同时在设计过程中也出现了多种新的设计方法和工艺。其中低温共烧陶瓷(Low Temperature Co-fired Ceramic, LTCC)技术就是一种非常具有代表性的新工艺,而且已经应用到标签天线、

芯片天线和收发前端等^[1-3]方面,具有重量轻、电气特性稳定、高灵敏度等优点,并对天线的改进设计^[4-5]、小型化设计^[6-7]起到了很大的推动作用,提高了天线辐射性能,减小了外形尺寸。作为一种新型的电子材料,LTCC 具有高耐温性、高热传导率、高 Q 值等诸多优点,文献[8]中对环境温度变化引起的材料介电常数变化和天线谐振频率特性进行了详细分析。但目前所设计的 LTCC 天线仅考虑在较低的环境温度下工作,尚未充分发挥 LTCC 材料的耐高

* 收稿日期:2012-02-27;修回日期:2012-06-05

温特性,开展高温环境下的天线设计非常必要。

本文需要设计的耐高温贴片天线由于工作在较高的环境温度条件下,而一般贴片天线使用的介质材料只能承受 180℃,无法满足使用要求,因而选择了 LTCC 材料,其能够承受的最高温度可达 400℃左右。但该材料的介电常数远高于一般贴片天线的介质材料,采用通常设计形式时天线谐振频率附近能量反射很小,但同时导致天线可工作的带宽较小;此外,环境温度还会对材料的电性能产生影响,LTCC 材料的介电常数会随着温度的升高而增大,使天线的谐振频率发生一定程度的偏移,严重情况下甚至会导致天线无法正常工作。为了克服以上问题,基于 LTCC 的 S 频段耐高温天线,在传统贴片天线设计形式的基础上,通过附加两层耦合贴片、采用阶梯阻抗变换馈电等方法,提高了天线的工作带宽,满足了高温条件下天线能够正常工作的要求。

2 天线设计

2.1 天线的设计形式

基于 LTCC 的 S 频段耐高温天线采用贴片天线的设计思路,具体的天线结构如图 1 所示。由主辐射单元、下层介质、接地板以及馈线结构组成天线的主体,为了展宽天线的频带,增加了两个耦合贴片层。其中耦合贴片层 1 内的矩形贴片能够显著降低天线谐振频点附近的回波损耗,而耦合贴片层 2 内的两个耦合圆环可以有效调节天线的谐振频点。通过两层耦合贴片的方法,大幅提高了天线可工作的频率范围,从而保证高温引起谐振频率偏移时,该天线依然能够正常工作。

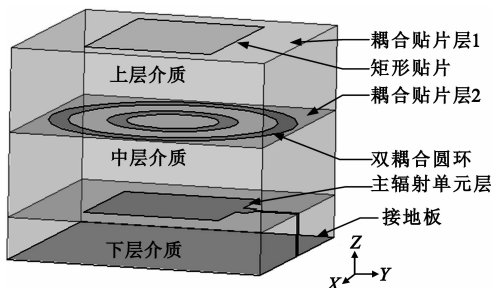


图 1 天线的设计形式
Fig.1 Structure of the antenna

2.2 天线的结构尺寸

基于 LTCC 的 S 频段耐高温天线采用多层 LTCC 材料作为介质层,其介电常数为 5.7,每层层厚为

0.096 5 mm,损耗因子为 2×10^{-3} (1 ~ 100 GHz),导体厚度为 0.010 ~ 0.012 mm。参考文献[8]中的相似材料,25℃ 时相对介电常数的温度系数为 136 ppm/K,热膨胀系数为 6.3 ppm/K。可见该材料的损耗很小,加工精度高,并且可工作的温度范围也远高于普通的贴片天线,能够承受的最高环境温度可达 400℃左右,而热膨胀系数很小,对天线的整体尺寸影响可以忽略。但当环境温度升高到 400℃时,介电常数会提高 0.3 左右,直接引起天线的谐振频率降低数十兆赫,对于普通的窄带 LTCC 天线影响极为严重。本文设计的 S 频段 LTCC 耐高温天线整体外形尺寸为 40 mm × 40 mm × 3.377 5 mm,天线下层介质共 7 层,总厚度 h 为 0.675 5 mm;中层介质共 14 层,总厚度为 1.351 mm;上层介质共 14 层,总厚度为 1.351 mm。

2.2.1 主辐射单元

主辐射单元依据贴片天线的设计思想,采用长方形贴片,长、宽分别为 22 mm 和 21.5 mm,略小于天线工作波长 λ 的四分之一。工作波长 λ 的计算方法如下:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{2.67 \times 10^9} \approx 0.11 \text{ m} \tag{1}$$

$$\frac{\lambda}{4} = \frac{0.11 \text{ m}}{4} = 27.5 \text{ mm} \tag{2}$$

式中, c 为电磁波在真空中的传播速度, f 为天线工作的中心频率。

2.2.2 耦合贴片

文献[9]和[10]中指出,展宽阻抗频带的一条有效途径是附加耦合贴片,可以采用共面配置,也可以采用上下配置。本文设计了两个耦合贴片层,均采用上下配置方式,其中耦合贴片层 1 为一矩形贴片;耦合贴片层 2 为两个耦合圆环,大圆环的外半径为 19 mm,圆环宽度为 3 mm,中心周长约等于一个工作波长,可以有效地降低天线在谐振频率的回波损耗,小圆环的外半径为 10 mm。通过调整小圆环的宽度,会在天线原有谐振频率附近增加一个谐振点。而耦合贴片层 1 内的矩形贴片尺寸,可以显著降低天线在谐振频率附近的回波损耗。合理调整两层耦合贴片的结构尺寸,能够有效地展宽天线的工作带宽,从而克服 LTCC 材料工作频带窄以及高温引起谐振频率偏移等问题。

2.2.3 微带馈线

天线的馈源为微带结构,宽度 w 为 0.88 mm,由

文献[11]可知,当介质的相对介电常数为 5.7 时, $w/h = 1.3$ 所对应的特性阻抗 Z_c 约为 $50\ \Omega$,能够很好地与馈电端口匹配。同时,为了减小微带与主辐射单元之间的能量反射,采用阶梯阻抗变换的设计思想,即微带结构呈阶梯状与主辐射单元相接,具体结构如图 2 所示。

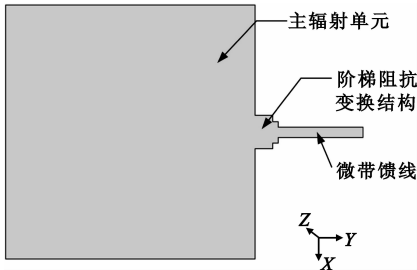


图 2 阶梯阻抗变换结构
Fig.2 Structure of stepped impedance transformation

3 天线带宽分析

3.1 双谐振点对天线带宽的影响

利用 Ansoft HFSS 13.0 仿真软件对基于 LTCC 的 S 频段耐高温天线进行仿真计算。首先针对 LTCC 材料因其自身高 Q 值特性而导致可用工作频带变窄的问题,分析了仅有耦合贴片层 2 时双圆环设计对天线谐振点的影响。该设计的主要目的是通过增加的两个耦合圆环,在天线原有谐振频率附近,新增一个谐振点。图 3 中给出了双耦合圆环对天线谐振频点的影响。其中大圆环可以保证天线在 2.7 GHz 时匹配良好;而小圆环使天线在 2.65 GHz 左右,又增加了一个谐振点,合理地 对耦合结构进行设计,可以使两个谐振点相对靠近,形成一个可用的频率范围,从而达到增加天线带宽的目的。

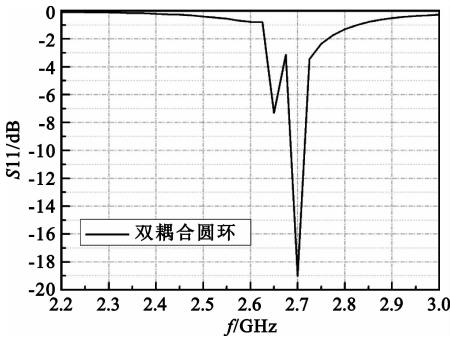


图 3 双耦合圆环对天线带宽的影响
Fig.3 Antenna bandwidth after introducing the dual-coupled circle

3.2 矩形贴片对天线带宽的影响

为了进一步减小天线在谐振频率附近的回波损耗,S 频段 LTCC 天线采用了两层耦合贴片的方法,除双耦合圆环外,还在天线的最顶层增加了矩形贴片。该贴片的作用是降低天线在谐振点附近的能量反射,减小材料自身高 Q 值带来的窄带影响,如图 4 所示。与图 3 中的数值结果对比可知,高 Q 值会引起 S11 曲线的陡峭变化,而矩形贴片在很大程度上减缓了曲线的上升与下降过程。该方法为下一步调整结构尺寸,进而展宽耐高温天线的工作带宽,满足高温环境下的工作要求提供了有效途径。

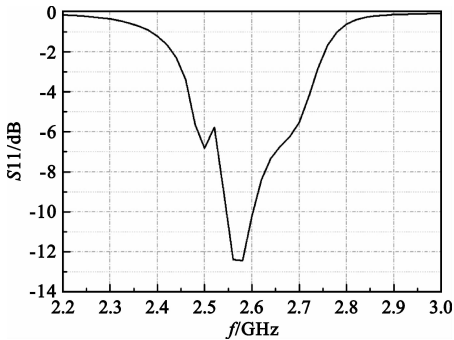


图 4 矩形贴片对天线带宽的影响
Fig.4 Antenna bandwidth after introducing the rectangular patch

4 耐高温分析

通过以上的数值分析,对 S 频段 LTCC 耐高温天线的结构尺寸进行合理调整,使天线可以工作在一个较宽的频率范围内。然后针对高温环境会使 LTCC 材料的介电常数升高,引起天线谐振频率偏移的问题,仿真该天线在高介电常数状态下的回波损耗。为了满足使用要求,可以取高低温状态下可用工作带宽的交集部分。图 5 中给出了调整耦合贴片尺寸后 S11 的高低温曲线,其中耦合小圆环的宽度定为 3 mm,使圆环的中心周长约为半个工作波长;阶梯阻抗变换线的长宽分别定为 $1\text{ mm} \times 1.5\text{ mm}$ 和 $0.5\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ 。由图可见,合理调整结构尺寸后,基于 LTCC 的 S 频段耐高温天线工作带宽有了明显提高,能够有效避免因温度升高而使天线谐振频率的偏移超出原有工作带宽的现象。当天线工作的中心频率为 2.67 GHz、工作环境温度为 25°C 到 400°C 时,可用带宽为 100 MHz ($S_{11} \leq -10\text{ dB}$),在工作频带内能量反射非常小,部分发挥了 LTCC 技术高 Q 值的特点。

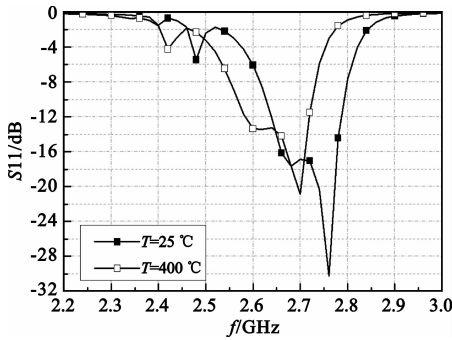


图 5 高低温状态下的天线回波损耗

Fig.5 Antenna return loss in the high or low temperature

基于 LTCC 的 S 频段耐高温天线在高低温状态下的二维辐射方向图如图 6 所示,由图可以得出,该天线的最大辐射方向为 0° 附近,最高增益大于 5 dB,辐射特性与传统的微带天线一致,并且 T 等于 25°C 到 400°C 时两个辐射方向图几乎重合,可见 LTCC 耐高温天线的方向性受温度影响很小,辐射性能稳定。

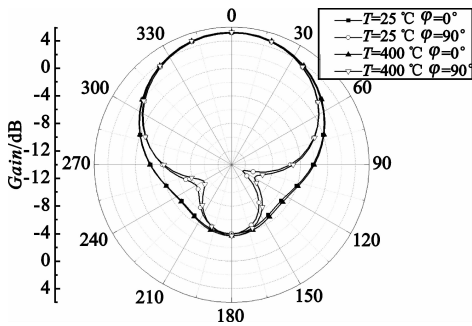


图 6 天线在高低温状态下的二维辐射方向图

Fig.6 Radiation pattern in the high or low temperature

5 结束语

本文基于 LTCC 技术,首次将该材料应用到耐高温天线方面,采用传统的贴片天线设计形式,实现了 S 频段耐高温天线的设计,并对天线在高低温状态下的电性能进行了分析,仿真结果表明利用 LTCC 材料可以大幅提高天线能够承受的环境温度,有效地拓展了 LTCC 天线的应用范围。但目前天线可用的工作带宽依然偏窄,无法满足宽带的使用要求,增加天线带宽将是后续的研究重点,同时还需要开展天线在高低温状态下的实验考核,验证仿真结果的正确性。

参考文献:

[1] 张为,曾燕. 基于 LTCC 技术的 UHF RFID 标签天线设

计[J]. 电波科学学报,2008,23(5):987-996.

ZHANG Wei, ZENG Yan. UHF RFID antenna design based on LTCC technology[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2008,23(5):987-996. (in Chinese)

[2] 郑轶,金龙,孙一萍. 一种 LTCC 芯片天线研制[J]. 微波学报,2009(25):59-62.

ZHENG Yi, JIN Long, SUN Yi-ping. Design of a Chip Antenna Using LTCC Technology[J]. Journal of Microwaves, 2009(25): 59-62. (in Chinese)

[3] 李平. 八毫米收发前端 LTCC 技术研究[D]. 成都:电子科技大学,2009.

LI Ping. Research of eight millimeters send and receive front end based on LTCC technology[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China,2009.(in Chinese)

[4] 全巍,延波,王金洪,等. 基于 LTCC 技术的微带缝隙 E 型贴片天线研究[J]. 微波学报,2010(增 1):116-118.

QUAN Wei, YAN Bo, WANG Jin-hong, et al. An Microstrip Slot Antenna with E-Type Parasitic Patches Based on LTCC Technology[J]. Journal of Microwaves, 2010(Suppl. 1):116-118. (in Chinese)

[5] 杜永艳. 准平面宽带圆极化微带天线研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2009.

DU Yong-yan. Quasi-planar Broadband Circularly Polarized Microstrip Antenna[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2009. (in Chinese)

[6] 李恬. 基于 LTCC 技术小型化天线设计与研究[D]. 成都:电子科技大学,2010.

LI Tian. Design and Research of the Miniaturization of Antennas Based on LTCC Technology[D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China,2010.(in Chinese)

[7] 许佳. 小型 LTCC 天线的研究与分析[D]. 杭州:浙江工业大学,2004.

XU Jia. Research and Analysis of Miniature LTCC Antenna [D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2004. (in Chinese)

[8] 赵丽娟,邹永庆,杨代明. LTCC 小型天线的稳定性分析 [C]//2009 年全国天线年会论文集. 北京:电子工业出版社,2009:1099-1102.

ZHAO Li-juan, ZOU Yong-qing, Yang Dai-ming. Stability analyses of LTCC miniature antenna[C]//National antenna Annual Conference Proceedings. Beijing: Publishing House of Electronic Industry,2009:1099-1102. (in Chinese)

[9] 钟顺时. 微带天线技术[M]. 西安:西安电子科技大学,1988.

ZHONG Shun-shi. Microstrip antenna technology[M]. Xi'an: Xidian University,1988. (in Chinese)

[10] 王元源,赵交成,李斌. LTCC 多层宽带阵列天线设计 [J]. 火控雷达技术,2011,40(1):95-98.

WANG Yuan-yuan, ZHAO Jiao-cheng, LI Bin. Design of LTCC Multilayer Wideband Array Antenna[J]. Fire Control

Radar Technology, 2011,40(1):95 – 98. (in Chinese)

[11] 钟顺时. 微带天线理论[M]. 西安:西北电讯工程学院,1987.

ZHONG Shun-shi. Microstrip antenna theory [M]. Xi'an: Northwest Institute of Telecommunication Engineering, 1987. (in Chinese)

作者简介:

刘秀祥(1985—),男,天津武清人,2011 年于西安电子科技大学获硕士学位,主要研究方向为计算微波与计算电磁学、微波天线、电磁兼容及电波传播特性等;

LIU Xiu-xiang was born in Wuqing, Tianjin, in 1985. He received the M. S. degree from Xidian University in 2011. His research interests include computational electromagnetism, microwave antennas, EMC and radio waves propagation characteristics, etc.

Email: lenovo_hktk@126.com

秦永强(1971—),男,河南内乡人,1994 年于成都信息工

程学院获学士学位,主要研究方向为射频电路、天线等;

QIN Yong-qiang was born in Neixiang, Henan Province, in 1971. He received the B.S. degree from Chengdu University of Information Technology in 1994. His research interests include RF circuit and antenna, etc.

赵 良(1974—),男,内蒙古呼和浩特人,2001 年于内蒙古大学获硕士学位,主要研究方向为通信系统、微波通信等;

ZHAO Liang was born in Hohhot, Inner Mongolia Autonomous Region, in 1974. He received the M.S. degree from Inner Mongolia University in 2001. His research interests include communication system and microwave communication, etc.

曾贵明(1967—),男,江西乐安人,2004 年于国防科学技术大学获硕士学位,主要研究方向为通信系统、微波通信等。

ZENG Gui-ming was born in Le' an, Jiangxi Province, in 1967. He received the M.S. degree from National University of Defense Technology in 2004. His research interests include communication system and microwave communication, etc.