

## 高温超导圆极化微带天线辐射性能的研究

朱美红<sup>1</sup>, 曹必松<sup>1</sup>, 张雪霞<sup>2</sup>, 李伟华<sup>1</sup>, 姚保伦<sup>2</sup>, 周岳亮<sup>3</sup>, 何 萌<sup>3</sup>, 陈正豪<sup>3</sup>, 刘铁军<sup>4</sup>

(1. 清华大学物理系, 北京 100084; 2. 清华大学电子工程系, 北京 100084;

3. 中国科学院物理所, 北京 100080; 4. 航天总公司 207 所, 北京 100854)

**摘 要:** 本文设计并研制了 2GHz 敷铜板圆极化微带天线及 4.5GHz 高温超导 (HTS) 圆极化微带天线. 2GHz 敷铜板圆极化微带天线的半功率角为 63°, 最好轴比为 1.2dB; 4.5GHz 的 HTS 圆极化微带天线相对于银天线有 3dB 的增益改善, 其半功率角大于 63°.

**关键词:** 圆极化; 微带天线; 高温超导

**中图分类号:** TN82 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2000) 09-0096-03

### Investigation on the Performance of an HTS Microstrip Antenna

ZHU Mei-hong<sup>1</sup>, CAO Bi-song<sup>1</sup>, ZHANG Xue-xia<sup>2</sup>, LI Wei-hua<sup>1</sup>, YAO Bao-lun<sup>2</sup>,  
ZHOU YUE-liang<sup>3</sup>, HE Meng<sup>3</sup>, CHEN Zheng-hao<sup>3</sup>, LIU Tie-jun<sup>4</sup>

(1. Department of Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

3. Institute of Physics, Academia Sinica, Beijing 100080, China;

4. Beijing Institute of Environment and Feature, Beijing 100854, China)

**Abstract:** A 2GHz circularly polarized copper microstrip antenna and a 4.5GHz circularly polarized YBCO microstrip antenna are designed and fabricated. The copper microstrip antenna has a beam-width of 63° and an axial ratio of 1.2dB. The superconducting YBCO antenna has about 3dB gain improvement over the comparable silver antenna at 77K. The beamwidth of the superconducting antenna will be larger than 63°, which will make circularly polarized YBCO microstrip antenna more practicable in some space communication fields.

**Key words:** circularly polarization; microstrip antenna; HTS (high temperature superconductor)

## 1 引言

天线是航天通信中必不可少的元件. 在航天通信中, 如何减少天线的体积和重量, 是必需要考虑的问题. 就体积和重量而言, 微带天线是一个最佳选择, 但用普通金属制成的微带天线, 往往由于其损耗大而使其无法实用. 在微波频段, 高温超导 (HTS) 材料具有极低的表面电阻, 用它取代普通金属制成微带天线, 就能克服损耗大这一缺点, 因此高温超导微带天线在航天通信中有着广阔的应用前景<sup>[1,2]</sup>. 关于高温超导微带天线的研究进展, 已有大量的文献报道<sup>[3~15]</sup>.

根据航天部组织的“超导磁窗-超导天线”项目, 我们需要提供性能优越的 6GHz 和 2GHz HTS 圆极化微带天线. 以往我们已对 6GHz 的超导圆极化微带天线进行了比较系统的研究. 本文以 2GHz 的 HTS 圆极化微带天线为目标, 研究了 2GHz 敷铜板圆极化微带天线及 4.5GHz 的 HTS 圆极化微带天线, 为实际应用打下了很好的基础.

## 2 2GHz 敷铜板圆极化微带天线

由于敷铜板可以很方便地得到, 因此我们先研究 2GHz 敷铜板天线. 基片厚度为 1.5mm, 介电常数  $\epsilon_r$  为 2.7, 要求设计频率为 2GHz.

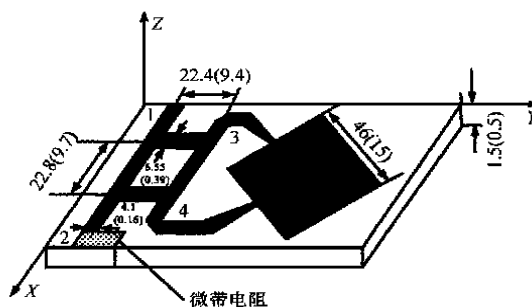


图1 圆极化微带天线(括号内为 HTS 天线尺寸, 单位:mm)  
如图 1, 天线由 3dB 电桥、渐变线、微带辐射器组成. 通过

3dB 电桥使输入信号变成两个等幅、相位差为  $90^\circ$ , 从两个垂直的方向送给辐射器的信号, 以实现天线的圆极化特性。3dB 电桥是以 50  $\Omega$  匹配设计的, 而辐射器的输入阻抗往往不是 50  $\Omega$ , 通过渐变线实现它们之间的匹配。

表 1 3dB 电桥的  $S$  参数

$f$ (GHz)	$S_{11}$	$S_{21}$	$S_{31}$		$S_{41}$	
			dB	相位角	dB	相位角
1.8	-15	-15.66	-3.73	132.1	-2.92	44.2
1.9	-22.2	-22.33	-3.22	113.2	-2.97	23.8
2.0	-30.45	-30.06	-3.02	93.9	-3.08	3.8
2.1	-18.96	-18.84	-3.1	74.8	-3.21	-15.8
2.2	-14.17	-14.23	-3.42	56.6	-3.36	-35.3

## 2.1 天线设计

根据基片的上述已知参数及所需频率, 用清华大学电子系的 TUCOM 软件设计 3dB 电桥, 用矩量法计算辐射器的输入阻抗以确定辐射器的尺寸。

设计尺寸见图 1, 相应 3dB 电桥的 4 个  $S$  参数设计值见表 1, 信号从 1 口馈入 (端口号见图 1)。从表中可看出在  $f_0 = 2\text{GHz}$  处, 1 端口反射信号很小, 2 端口能够隔离, 3、4 口的传输系数为 3dB, 相位差为  $90^\circ$ , 能够使辐射器实现圆极化。

图 2 示出了图 1 所示辐射器尺寸的输入阻抗随频率的关系曲线, 可看出该辐射器的谐振频率为 2.03GHz。

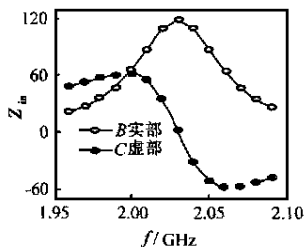
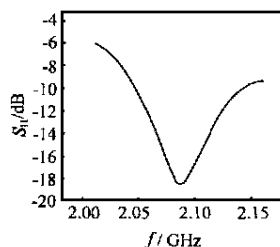


图 2 辐射器的输入阻抗与频率关系

图 3  $S_{11} - f$  关系

## 2.2 天线制作

利用敷铜板制作该种天线。

(1) 根据设计尺寸制作光刻用底板。  
(2) 光刻: 采用光刻技术在薄膜表面刻出所需图形。  
(3) 腐蚀: 我们配制了 1:1 的  $\text{HNO}_3$  腐蚀液进行腐蚀, 在基片上腐蚀出天线图形。

(4) 图 1, 在隔离端粘上 50  $\Omega$  微带电阻, 用银胶使之与地接触, 以确保该端口的信号隔离。

这样就得到最后的天线。

## 2.3 性能测试

(1) 用 HP8510 测量了该天线的反射系数  $S_{11}$ , 见图 3。从图中可看出, 该天线在 2.0GHz 附近, 反射系数  $S_{11}$  都很小, 说明天线匹配很好, 与设计值相符。

(2) 天线方向图及轴比: 在航天部天线测量组进行, 分别在 2.05GHz、2.085GHz 及 2.1GHz 进行了方向图及轴比的测量。2.1GHz 处轴比性能最好, 结合  $S_{11} - f$  曲线可确认该天线的工作点为 2.1GHz。该频率处的方向图、轴比见图 4。取每一周期 (轴比) 最大、最小信号之中点, 连起来即为该天线的方向性

曲线 (方向图)。由图 4 可知该天线的基本性能参数: 方向性: 半功率角为  $63^\circ$ ; 轴比: 0 方向: 轴比 2dB; 4 方向: 轴比 1.2dB; 轴比在 3dB 以内的方向角范围为  $18^\circ$ 。

## 2.4 简要分析

(1) 工作频率为 2.1GHz, 略高于设计频率, 可能是敷铜板的实际介电常数  $\epsilon_r$  与设计时所用的 2.7 有差异所致。通过进一步设计, 调整各部分尺寸, 可得到工作频率为 2GHz 的天线。

(2) 轴比: 从理论上讲, 这种天线只在其正前方才是理想圆极化, 即越偏离正前方轴比越差。即使在天线正前方, 由于实际馈入辐射器的两信号不可能绝对地等幅、相位差  $90^\circ$  度及从两个垂直方向馈入, 天线不可能达到真正意义上的圆极化。图 4 所示最好的轴比在 4 度方向上, 为 1.2dB, 轴比特性很好。

(3) 由图 4 看出, 最大辐射方向不在 0 方向, 而在 4 方向。如图 1, 我们测的是 YZ 平面上的方向图, 3dB 电桥使天线系统不对称于 Y 轴, 可能是导致最大辐射方向偏离的原因。

## 3 高温超导圆极化微带天线

用同样的方法设计了 2GHz HTS 圆极化微带天线, 基片为  $\text{LaAlO}_3$ ,  $\epsilon_r = 25$ , 设计结果如图 1 (括号中为尺寸)。由图 1 可看出, 研制成这样的天线需要  $40\text{mm}^2$  左右的大面积 YBCO HTS 薄膜, 这在国内目前很难得到。为此, 在研制 2GHz 敷铜板圆极化微带天线的基础上, 研制了 4.5GHz 的 YBCO HTS 圆极化微带天线, 以取得用较大面积的薄膜研制较低频率 HTS 微带天线的经验。

研究结果表明该种 HTS 天线的增益相对于 Ag 天线提高了 3dB (见图 5)。详细报道见文献 [12]。

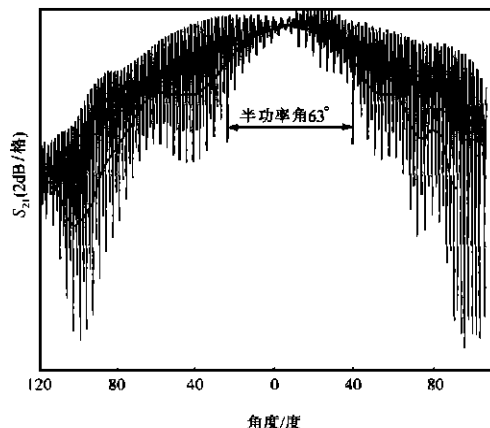


图 4 2GHz 铜圆极化微带天线方向图

## 4 结论

敷铜板圆极化微带天线性能测试的结果与理论预测基本一致, 且已基本上满足“超导磁窗-超导天线”项目的需要。4.5GHz 的 YBCO HTS 圆极化微带天线的研究结果表明: 用 HTS 材料取代 Cu 可获得更大的增益。由于单个辐射器的方向图主要与  $\epsilon_r$  有关,  $\epsilon_r$  越大, 半功率角越大 [16]。因此, 如果用超导材料取代 Cu 制成 HTS 圆极化微带天线, 其半功率角将比 Cu 天线大。超导天线的半功率角更大这一特性将更能使该种

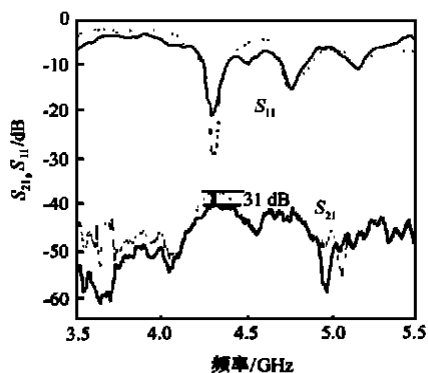


图5 4.5GHz天线的S参数测试结果

(——Ag 天线, - - - YBCO 超导天线)

超导天线实际应用于“超导磁窗-超导天线”系统。

#### 参考文献:

- [1] R. C. Hansen. [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1991, 39:1508.
- [2] R. J. Dinger, D. R. Bowling and A. M. Martin. [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1991, 39:1498.
- [3] R. J. Dinger, D. R. Bowling, A. M. Martin and J. Talvacchio. [J]. IEEE MTT-S Digest, 1991:1243.
- [4] C. E. Gough, S. K. Khamas, T. S. M. Maclean, M. J. Mehler, N. McN. Alford and M. M. Harmer. [J]. EE Trans MAG, 1989, 25:1313.
- [5] L. P. Ivrintz, M. J. Lancaster, T. S. M. Maclean, N. McN. Alford. [J]. IEEE Trans. on Applied Superconductivity, 1994, 4:33.
- [6] H. Chaloupka, N. Klein, M. Peiniger, H. Piel, A. Pischke and G. Splitt. [J]. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1991, 39:1513.
- [7] L. L. Lewis, G. Koepf, K. B. Bhasin and M. A. Richard. [J]. IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 1993, 3:2844.

- [8] Tian Yuke, Cao Bisong, He Aisheng, Zhang Xuexia. [J]. Chinese Journal of Low Temperature Physics, 1995, 7:429.
- [9] N. Ishii, T. Fukasawa and K. Itoh. [J]. IEICE TRANS ELECTRON, E77-C, 1994:1242.
- [10] H. Jiang, T. Yuan, H. How, A. Widom, C. Vittoria, D. Chrisey, J. Horwitz and A. Drehman. [J]. Physical Review B, 1994, 49:9924.
- [11] J. S. Herd, d. Hayes et al. [J]. IEEE TRANS. ON APPL. SUPERCONDUCTIVITY, 1993, 3:2840.
- [12] M. H. Zhu, B. S. Cao, X. X. Zhang, W. H. Li, L. W. Zhang, D. J. Dong, M. L. Liu, D. F. Cui, M. Hze, Y. L. Zhou and T. J. Liu. [J]. Physica C, 1997, 2515:282 - 287.
- [13] X. X. Zhang, M. H. Zhu, Y. J. Wang, N. Li, B. S. Cao, D. J. Dong, Y. G. Zhao, L. W. Zhang, X. P. Wang, T. J. Liu. [J]. Physica C, 1997, 251:282 - 287.
- [14] Zhu Meihong, Cao Bisong, Li Na, He Aisheng, Zhang Xuexia, Zhao Yonggang, Dong Daijie, Wang Yujie, Zhou Yueliang, Lu Huibin, Cui Dafu, Yi Changlian, Luo Kunlun, Wang Yanju, Liu Tiejun, Gu Binglin. [J]. Physica C, 1997, 2511, 282 - 287.
- [15] M. H. Zhu, B. S. Cao, X. X. Zhang, N. Li, Y. J. Wang, Y. G. Zhao, D. J. Dong, B. L. Gu, Y. L. Zhou, Z. H. Chen, H. B. Lu, X. P. Wang and T. J. Liu. [J]. Applied Superconductivity, 1997, 241:4.
- [16] 钟顺时. 微带天线理论与应用 [M]. 西安电子科技大学, 1991.

#### 作者简介:



朱美红 副教授, 1964 年出生. 1989 年 7 月毕业于清华大学材料系, 1992 年 3 月毕业于清华大学核研院, 获材料专业硕士学位. 1992 年 4 月至今于清华大学物理系从事教学、科研工作. 研究方向: 超导物理与超导电子学.

(上接第 141 页)

#### 参考文献:

- [1] C. Berrou, et al. Near Shannon limit error-correcting coding and decoding: Turbo-codes(1) [A]. in Proc. IEEE Int. Conf. on Communications (Geneva, Switzerland, May 1993), 1064 - 1070.
- [2] L. Bahl, J. Cocke, F. Jeinek, J. Raviv. [J]. IEEE Trans. Inform. Theor-

ry, Mar. 1974, 20:248 - 287.

- [3] Sorin Adrian Barbulescu. Iterative decoding of turbo codes and other concatenated codes [D]. for the Degree of a Doctor of Philosoph of University of South Australia.
- [4] Patrick Robertson, Emmanuelle Villebrun, Peter Hoeher. A comparison of optimal and sub-optimal MAP decoding algorithms operating in the log domain [C]. 0-7803-2486-2/95 IEEE.