

适用于雷达系统的高温超导窄带滤波器

李 翡¹ 张雪强¹ 孟庆端¹ 李春光¹ 何艾生¹
 李顺洲² 黎 红¹ 何豫生¹ 罗 强¹ 顾长治¹

¹ 中国科学研究院物理研究所 北京 100080

对雷达系统,通过在接收前端安置高 Q 、窄带、高带外抑制的滤波器,可以有效减少信号间的干扰,由此可见高性能的滤波器对于雷达系统来说,具有重要作用。与常规滤波器相比,高温超导滤波器具有带边陡峭、插入损耗小、带外抑制高、可以设计极窄带等特点。在本文中,我们设计加工了一种高性能的 12 阶切比雪夫(Chebyshev)高温超导带通滤波器,其中心频率为 1341 兆赫兹、带宽为 5.035 兆赫兹,可用于雷达系统。在滤波器设计中,我们用 Sonnet 软件对滤波器进行了仿真计算。最后滤波器在以氧化镁为衬底的双面超导薄膜上制作,衬底直径为 2 英寸、厚度为 0.5 毫米。测试结果表明,该滤波器符合设计要求,具有很好的选择性和带外抑制。

关键字: 高温超导, 滤波器, 微波应用, 雷达

PACC: 7470V, 7870G, 9580D

1 引 言

高温超导滤波器经过多年的研究,如今在很多方面都有重要的应用。雷达系统中,信号间的相互干扰对于多模雷达的正常工作影响很大,特别是当工作频率比较接近时,尤其明显。通过在接收前端安置高 Q 、窄带、高带外抑制的滤波器,可以有效减少信号间的干扰,由此可见高性能的滤波器对于雷达系统来说,具有重要作用^[1]。

常规滤波器主要是用金属(例如铜)加工制造,由于金属的微波表面电阻相对较大,因此表现为通带内微波损耗较高,即插入损耗大;对通带以外的邻频干扰抑制能力较差,即带外抑制小;边缘陡度较差,不适合用于窄带滤波。此外还可能会引起系统噪声系数的增加。与常规金属相比,高温超导薄膜的微波表面电阻可以要小千百倍^[2](见图 1),由其制得的滤波器 Q 值高、体积小、带外抑制好、带内插损小,因而可以有效的减少信号间的相互干扰。

2 滤波器设计

窄带滤波器是超导材料的一个重要应用,对于

常规金属材料的滤波器由于其微波表面电阻大,因此形成的谐振器 Q 值小,对应的谐振峰较为平缓,而超导材料微波表面电阻小,可以获得高 Q 值的谐振器,对应的谐振峰较为陡峭,利用多个谐振器的耦合,可以形成窄带滤波器^[3~4]。

根据设计指标,确定采用 12 阶切比雪夫(Chebyshev)滤波器模型来实现。该模型在通带内插损为等波纹形式,所有谐振器的谐振频率都等于滤波器中心频率,谐振器间的耦合系数由切比雪夫(Chebyshev)低通原型参数和滤波器的相对带宽共同决定。理论公式如下

$$M_{ij} = \frac{FBW}{\sqrt{g_i g_j}} \quad (1)$$

$$Q_{ei} = Q_{eo} = \frac{g_0 g_1}{FBW} \quad (2)$$

这里 M_{ij} 是第 i 个谐振器与第 j 个谐振器之间的耦合系数, Q_{ei} 和 Q_{eo} 分别是输入输出外部品质因子, FBW 是所要设计滤波器的相对带宽,其值等于绝对带宽除以中心频率, g_i 是切比雪夫(Chebyshev)低通原型参数^[5]。计算得理论曲线如图 2 所示。

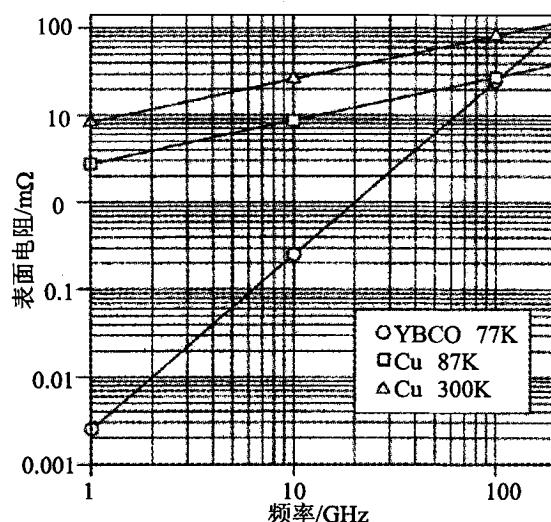


图 1 77K 下 YBCO 与铜表面电阻随频率变化关系的比较

滤波器的实现采用微带线的结构。微带线结构具体如图 3 所示。利用微带线结构可以实现器件的小型化,便于同系统的集成。对于滤波器的具体物理尺寸,通过 sonnet 软件进行仿真来确定,该软件可以进行三维的电磁场分析,它采用的是改进的时域有限差分的方法。此方法以 Maxwell 方程为基础,大大加快了运算速度。经过仿真确定滤波器的形状与大小后,进行加工。仿真响应曲线如图 4 所示。比较仿真结果和理论曲线可以看出,由于交叉耦合的影响,在仿真结果中出现了一对零点。该零点的出现改善了滤波器的带边陡度,提高了选择性能。

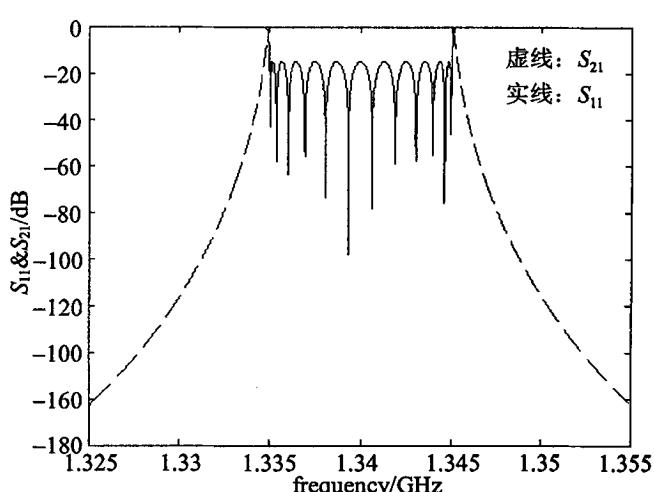


图 2 12 阶切比雪夫(chebyshev)滤波器理论响应曲线

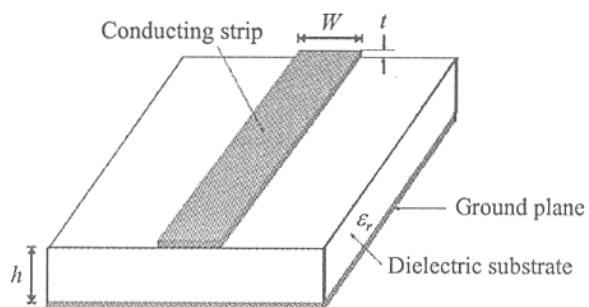


图 3 微带线结构

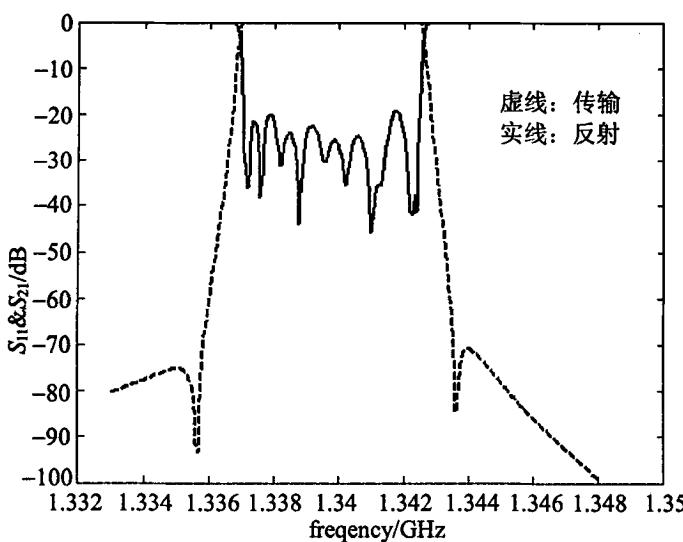


图 4 仿真曲线

3 实验测量

设计的滤波器是在以氧化镁为衬底的双面超导薄膜上制作的,衬底直径为2英寸、厚度为0.5毫米。氧化镁衬底介电常数为9.65,在要求的滤波器工作频率范围内,其介质损耗可以忽略。利用Agilent8510C网络分析仪测量,最初测试结果如图5。

通过调整测试盒盖板上调谐螺丝的高度,来改变谐振器的谐振频率和级间耦合,这样可以在一定

程度上弥补由于加工带来的误差,最终测量结果如图6。

4 结 论

利用超导材料加工制作的滤波器,可以具有极窄带的特性。同时在插损,带边陡度方面较常规金属滤波器有明显改善。我们这里设计加工的极窄带滤波器中心频率1341兆赫兹,带宽5.035兆赫兹,带内反射均在16.5db以下,带外抑制在60db以下,可以应用于雷达系统。

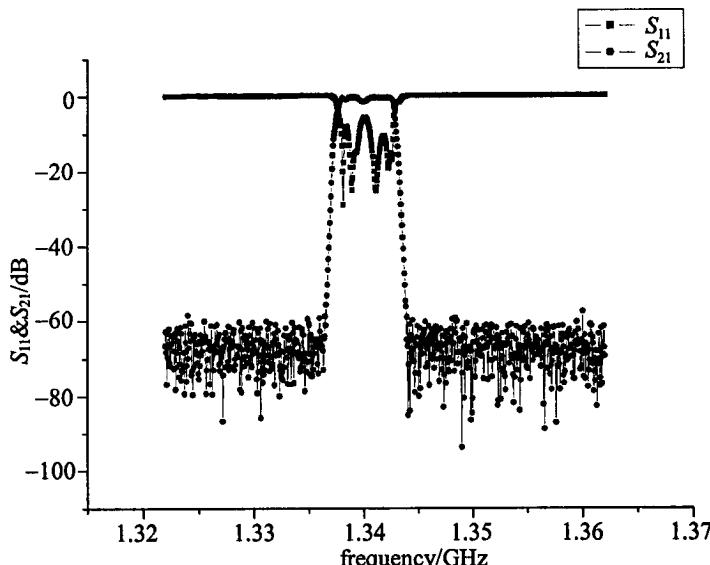


图5 调整前实际测量曲线

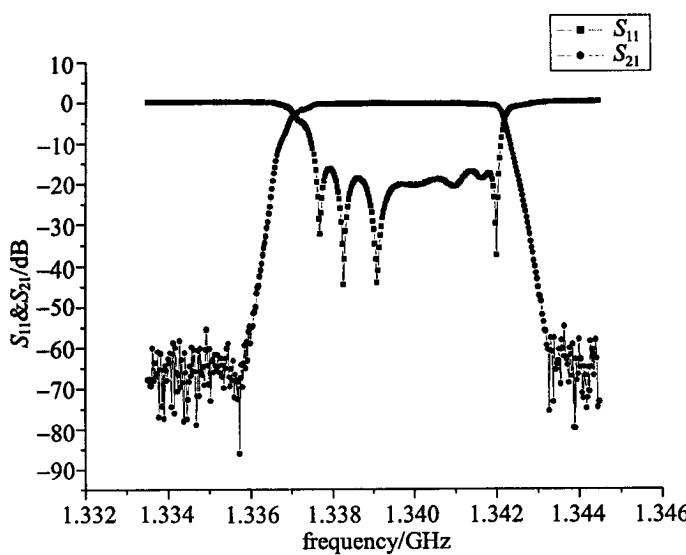


图6 调整后实际测量曲线

- [1] Niu Dow-Chih , Huang Tung-Wuu , Lee Hao-Jung , and Chang Chi-Yang , *IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY* , **15** , No. 2 , JUNE (2005).
- [2] A. Inam , X. D. Wu et al. , *SPIE 1989. 87 ; Appl phys letter.* **56** (1990) , 1178.
- [3] 陈静 孙亮 李顺洲等 , *低温物理学报* , **26** (2004) , 107.
- [4] 孙亮、陈静等 , *低温物理学报* , **26** (2004) , 263.
- [5] 胡益华等 , *低温物理学报* **27** (2005) , 371.

HTS NARROW-BAND FILTER APPLIED IN RADAR SYSTEM

Li Fei ¹ ZHang Xue-Qiang¹ Meng Qing-Duan¹ Li CHun-Guang¹ He Ai-SHeng¹
 Li SHun-ZHou² Li Hong¹ He Yu-SHeng¹ Luo Qiang¹ Gu CHang-ZH¹

¹*institute of physics ,Chinese academy of science Beijing 100080*

²*institute of Acoustics ,Chinese academy of science Beijing 100080*

(Received 16 November , 2005)

To eliminate the interference between the tracking and searching radar , the HTS superconducting filter is been in application.

Compared with the conventional metal filter , the HTS superconducting filter has more advantages. Therefore , a 12 poles chebyshev bandpass HTS superconducting filter was designed , and the result of measurement shows that the figures of the filter meet the requirement of design.

Keywords : HTS , filters , microwave , radar

PACC : 7470V , 7870G , 9580D

微波滤波器设计培训——视频课程

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养，是国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地。客户遍布中兴通讯、研通高频、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们推出的微波滤波器设计培训专题，有资深工程师领衔主讲，课程既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，设计原理和设计仿真实践相结合，向大家呈现各种结构的微波滤波器的完整设计流程。旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。



微波滤波器设计培训专题视频课程

高清视频，专家授课，中文讲解，直观易学；既有微波滤波器设计原理的详细解释，也有像 ADS、CST、HFSS 各种仿真分析工具的实际设计应用讲解，旨在帮助大家透彻地理解并实际的掌握各种微波滤波器的设计。

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/filter/>

更多专业培训课程：

- **HFSS 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/>

- **CST 视频培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/cst/>

- **天线设计专业培训课程**

网址: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/>

专注于微波、射频、天线设计人才的培养

易迪拓培训

官方网址: <http://www.edatop.com>

淘宝网店: <http://shop36920890.taobao.com>