

# 高温超导带通滤波器\*

曹效能 杨彩炳 李淑琴 方希曾 阎旭

(中国科学院电子学研究所, 北京 10080)

李宏成 王瑞兰

(中国科学院物理所, 北京 10080)

**摘要** 本文报道用  $\text{LaAlO}_3$  衬底  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  高温超导薄膜研制的四极平行耦合带通滤波器。在 77K 测试, 结果为: 中心频率为 8.96GHz, 带内插入损耗为 0.54dB, 带宽为 500MHz。文中还讨论了设计制作高性能微带滤波器应注意的问题。

**关键词** 带通滤波器; 耦合微带线; 高温超导膜

## 1. 引言

高温超导薄膜最重要的性能是微波表面电阻小。已有报道, 在 77K,  $\text{LaAlO}_3$  衬底  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$  薄膜, 在 10GHz, 微波表面电阻  $R_s$  为  $200\mu\Omega$ <sup>[1]</sup>, 与铜膜比至多为 1/10。所以用高温超导薄膜研制的微波无源器件其损耗和色散均比正常金属膜同类器件小。本文报道用  $\text{LaAlO}_3$  衬底  $\text{GdBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ ( $\text{GdBaCuO}$ ) 薄膜研制的四极平行耦合带通滤波器, 获得很好的微波性能。在 77K 测得: 中心频率 8.96GHz, 插入损耗为 0.54dB。该带通滤波器是我们正在进行研制的 X 波段高温超导-半导体混合集成接收机前端中的一个重要部件。

## 2. 带通滤波器结构设计

高温超导微带带通滤波器常用的型式是半波长平行耦合线滤波器。这种滤波器已有较精确的设计方法<sup>[2-4]</sup>。由于  $\text{LaAlO}_3$  基片的相对介电常数  $\epsilon_r$  较大, 损耗也小, 适于用作制备多功能集成器件。我们选定四极平行耦合带通滤波器型式, 设计参量为: 中心频率  $f_0 = 9.1\text{GHz}$ , 相对带宽  $\Delta = 5\%$ , 带内切比雪夫波纹  $L_A$  为 0.1dB, 基片 ( $\text{LaAlO}_3$ ) 厚度  $H = 0.5\text{mm}$ , 相对介电常数  $\epsilon_r$  用微带谐振器测得为 22。用 CAD 程序<sup>[5,6]</sup>计算设计的四极平行耦合谐振带通滤波器的结构如图 1 所示。

由于目前用原位直流磁控溅射法制备双面高温超导膜仍有困难, 所以图 1 示出的带通滤波器背面是蒸镀厚约  $0.5\mu\text{m}$  的银膜作为接地面。

1993.07.07 收到, 1993.08.09 定稿。

\* 国家超导研究和发展中心资助项目。

曹效能 男, 1934 年生, 副研究员, 现主要从事超导微波与毫米波技术应用研究。

杨彩炳 男, 1936 年生, 副研究员, 现从事微波与毫米波超导电子学应用研究。

李淑琴 女, 1951 年生, 工程师, 现从事超导器件的制备。

李宏成 男, 1936 年生, 研究员, 现从事超导电性能和高温超导膜的研究。

### 3. GdBaCuO 膜制备

采用损耗小的  $\text{LaAlO}_3$  作衬底的高质量  $\text{GdBaCuO}$  膜是带通滤波器获得低插入损耗的关键。实验研究表明<sup>[7]</sup>: 用 a 轴和 c 轴混合取向的高温超导膜制备的带通滤波器, 其插入损耗远大于用 c 轴取向膜制备的同样结构带通滤波器的插入损耗。这说明混合取向膜的微波性能是不好的。

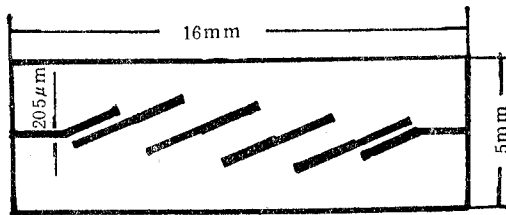


图 1 四极平行耦合谐振带通滤波器示意图

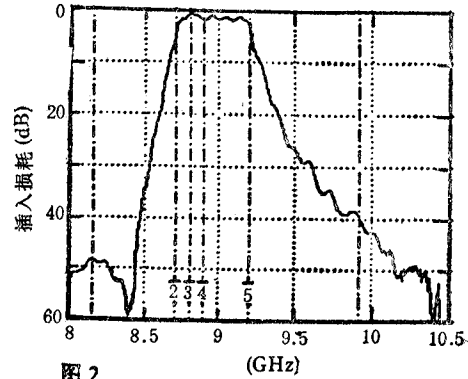


图 2

图 2 四极平行耦合谐振带通滤波特性图

2	8.7110GHz	4.99dB
3	8.8110GHz	0.54dB
4	8.9080GHz	1.90dB
8	9.200GHz	1.79dB
5	9.2120GHz	3.82dB

我们用直流磁控溅射原位处理方法, 在 (100)  $\text{LaAlO}_3$  衬底上制备的  $\text{GdBaCuO}$  超导薄膜, 在 77K, 零电阻转变温度  $T_c$  为 90K 到 92K, 临界电流密度  $J_c$  大于  $10^6 \text{A/cm}^2$ , 膜厚约 3000 Å。从 X 射线衍射图可看出, 薄膜是 c 轴垂直膜面取向, 膜的结构完整, 是高质量外延膜<sup>[8]</sup>。

### 4. 带通滤波器制备

使用湿法化学腐蚀工艺制作带通滤波器图形。光刻用正性 212 胶, 选择合适浓度的  $\text{H}_3\text{PO}_4/\text{H}_2\text{O}$  溶液作腐蚀液, 既可控制刻蚀速率, 又可使图形的线条侧向刻蚀很小<sup>[9]</sup>。经光刻和湿法刻蚀后, c 轴取向  $\text{GdBaCuO}$  膜的  $T_c$  下降小于 1.5K。

在图 1 所示的滤波器输入和输出信号线 ( $\text{GdBaCuO}$  膜) 上, 用掩膜成型蒸镀  $0.5 \mu\text{m}$  厚银膜, 使其形成低阻欧姆接触, 以实现好的阻抗匹配。

### 5. 带通滤波器性能

用美国 Wiltron 公司 562 scalar network analyzer, 在 77K 测得, 用  $\text{LaAlO}_3$  作衬底的  $\text{GdBaCuO}$  膜带通滤波器的特性曲线如图 2 所示。中心频率  $f_0 = 8.96 \text{GHz}$ , 带宽为 500MHz, 带外抑制大于 45dB。

带通滤波器用特制的 SMA 同轴接头, 在 7.5~10.5GHz 频率范围内, 其驻波系数小于 1.05, 保证了测量数据的高精确度。图 2 下面注出了不同频率下实测的插入损耗。

图 2 表明, 测量获得的中心频率偏离设计中心频率, 主要原因是设计用的  $\text{LaAlO}_3$  基片  $\epsilon_r$  值, 与研制滤波器所用  $\text{GdBaCuO}$  薄膜的  $\text{LaAlO}_3$  基片不是同一批材料, 两者的  $\epsilon_r$  值不一样, 因此, 设计的滤波器参数不准确, 这就引起频率偏离。要精确设计滤波器, 必须在设计之前对所采用的基片在工作频率下, 准确地测出  $\epsilon_r$  值, 然后才能准确地设计出

滤波器参量。

## 6. 结论

我们设计研制的四极平行耦合谐振带通滤波器获得了好的性能, 带内插入损耗为 0.54dB, 带外抑制大于 45dB。这个滤波器是用  $\text{LaAlO}_3$  衬底单面  $\text{GdBaCuO}$  薄膜制成的, 接地面是银膜。如用高质量双面高温超导膜研制滤波器, 即接地面也用超导膜, 再改进设计, 增加滤波器极数, 把滤波器的通带内插入损耗, 降低到 0.3dB 是可以实现的。

## 参 考 文 献

- [1] D. E. Oates et al., *IEEE Trans. On MTT*, **MTT-39** (1991) 9, 1522—1529.
- [2] S. B. Cohn, *IRE Trans. on MTT*, **MTT-6** (1958) 4, 223—231.
- [3] E. G. Cristal, *IEEE Trans. on MTT*, **MTT-19** (1971) 5, 486—490.
- [4] A. Riddle, High Performance Parallel Coupled Microstrip Filters, *IEEE Int. Microwave Symp. Digests*, Milpitas. (1988), 427—430.
- [5] 周文表, 微波集成电路计算机辅助设计手册, 人民邮电出版社, 北京, 1988 年, 第 974—978 页。
- [6] L. A. Trinogga et al., *practical microstrip circuit design*, Ellis Harwood, 187—197.
- [7] D. B. Rensch et al., *IEEE Trans. on Mag*, **Mag-27** (1991) 2, 2533—2556.
- [8] 易怀仁, 李宏成等, *半导体学报*, **12**(1991)8, 502—508.
- [9] 李淑琴等, 氧化物超导薄膜的成型技术, *低温与超导*, **18**(1990)1, 45—49.

## HIGH $T_c$ SUPERCONDUCTING BANDPASS FILTER

Cao Xiaoneng Yang Caibing Li Shuqin Fang Xizeng Yan Xu  
(*Institute of Electronics, Academia Sinica, Beijing 100080*)

Li Hongcheng Wang Ruilan  
(*Institute of physics, Academia Sinica Beijing 100080*)

**Abstract** A four pole microstrip parallel-coupled bandpass filter have been fabricated using epitaxial  $\text{GaBaCuO}$  thin film on  $\text{LaAlO}_3$  substrate. At 77k, the passband insertion loss is 0.45dB, the bandwidth is 500MHz. And it is suggested that several problems should be considered for designing a high performance superconducting microstrip line filter.

**Key words** Bandpass filter; Coupled pairs of microstrip line; High  $T_c$  superconducting thin film