

(8) 酸化物高温超伝導膜の作製とそのマイクロ波回路素子への応用

研究代表者 工学部 粟井郁雄

研究目的

高温超電導体は、高周波損失が金属に比べて非常に小さいことから、その高周波応用として、共振器、フィルタ等の HTS 受動回路素子による通信の高性能化を目的とする研究が行われている。また、高性能で小型の素子を大量に得るという観点から、マイクロ波特性の良好な超伝導膜を大面積に作製することは非常に有意義である。従ってまず始めに、マイクロ波素子の材料となる酸化物高温超伝導膜 {Y-Ba-Cu-O(YBCO)} を、安価な設備で容易に成膜可能な Sol-Gel 法により作製し、マイクロ波領域での特性を評価した。次に得られた高温超伝導膜を加工し、様々な平面型受動デバイスを試作し特性を評価した。本研究の目的はまず上述の方法によって良質の膜を作製する事、そして膜の特質に適合した新しい HTS 受動回路素子構造の提案を行うことである。

研究成果

まず、金属より十分低いマイクロ波抵抗を持つ高温超伝導膜を、大面積かつ安価に作製するために作製法 (MOD 法等) を確立する必要がある。我々は、ナフテン酸金属を用いた MOD 法による YBCO 膜の作製及びコプレーナ線路共振器について検討を重ねてきた。今回、マサチューセッツ工科大学 (MIT) 物質工学科 M.J.Cima 教授らとの共同研究により、金属酢酸混合溶液を用いて、MOD 法により YBCO 膜を作製することにより、高性能 YBCO 膜を大面積で得ることができた。出発原料として酢酸イットリウム、酢酸バリウム、酢酸銅をトリフルオロ酢酸で混合し、 LaAlO_3 単結晶基板 (25×25mm) 上に塗布・スピコートした後、仮焼成及び酸素中 785°C で最終熱処理することにより、膜厚 $0.35\ \mu\text{m}$ の YBCO 膜を得た。図 1 に 9.9 GHz での表面抵抗 (R_s) の温度依存性を示す。比較のために銅及び従来の方法により得られた YBCO 膜の R_s も合わせて示す。本方法では BaCO_3 等の非超伝導相が析出しないため従来の方法に比べ特性が著しく向上したと考えられる。本製膜法による YBCO 膜は 77K、9.9GHz において $R_s = 0.5\ \text{m}\Omega$ であり、スパッタ等のドライプロセスにより作製された YBCO 膜とほぼ同等の高周波特性が得られたので、製膜コストの大幅な低減と様々な形状へ製膜が可能であると考えられる。

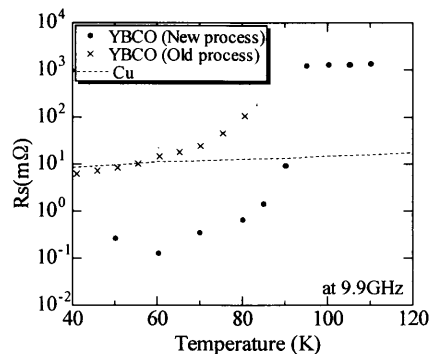


図 1. 表面抵抗 (R_s) の温度依存性

次に、ナフテン酸金属を持ちいた成膜方法で作製された YBCO 膜を用いて、コプレーナ型共振器を組み合わせたコプレーナ型バンドパスフィルタ (BFF) を試作し、金属で作製した素子と低温において比較した。なお中心周波数は移動体通信に用いられる 2 GHz 付近とした。なお、平面構造を実現するために、入出力部にインターディジタル型キャパシタを用いた。まずこのキャパシタについて検討した。図 2 にその回路パターンを示す。パターンの作製にはフォトマスクを用いたウェットエッチング法を用いた。また、長さ (l) を変化させたときの容量の変化を示す。点線は、最小 2 乗法によるフィッティング曲線であり、実線は、弾性表面波の励振に用いられるインターディジタル型トランスデューサの容量の理論曲線を示している。図 3 のように、 l の変化に対して、容量は線形に変化しており、所望の容量を容易に得ることができる。また、 l が 1 から 5 mm の範囲では、実験値は 10% 以下の誤差率で理論曲線と一致している。

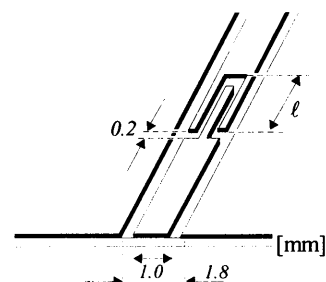


図 2. インターディジタル型キャパシタの回路パターン

図4に3段 $\lambda/4$ CPW共振器BPFの回路パターンを示す。図2のインターディジタル構造を用いることにより平面構造となり、多層化が可能である。また、30Kにおける伝送特性を図5に示す。YBCO膜を用いたBPFにおいて、中心周波数2.12 GHz、比帯域幅3.11%、挿入損失2.19dBの結果が得られた。これは、多結晶MgO基板上に銅メッキしたものに同一の回路パターンを用いて作製したBPF(比帯域幅3.48%、挿入損失3.25dB)と比較して、低損失化が実現されたといえる。また、共振器同士のカップリングによる減衰極が通過域の高域側に出現しており、YBCO膜を用いることでより急峻なスカート特性を得ることができた。

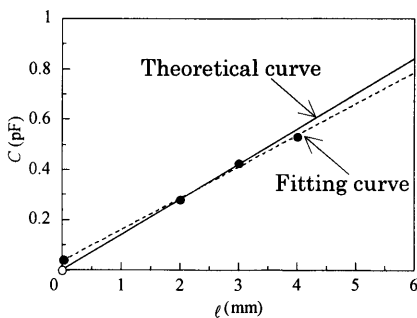


図3. 容量の l 依存性

CPW構造は中心導体幅と接地導体間隔を同一比率で縮小することにより、線路の特性インピーダンスを変化させずに小型化できるという優れた性質を持つため、超伝導膜で作製した場合、導体による損失を著しく低減できると考えられる。したがって、電子描画装置及びマスクアライナ等の微細加工技術を用いて、より小型かつ、高機能な超伝導デバイスの試作開発を行う。

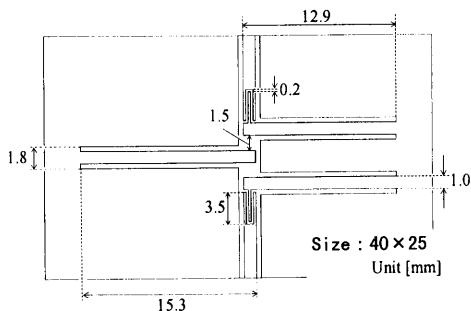


図4. 3段 $\lambda/4$ 共振器BPFの回路パターン

産業技術への貢献

現在用いられている金属(銅等)を用いたマイクロ波素子に比べて極端に低損失な素子が得られれば、移動体通信基地局用フィルタ等の今後の高度情

報化社会を支えるキーデバイスになりうる。しかし現状では低電力で銅の特性に勝るものが得られたところである。

また、将来宇宙空間の極低温環境を利用することにより、冷媒を用いずに使用できる低損失の素子が得られ衛星通信の高効率化が図られる。

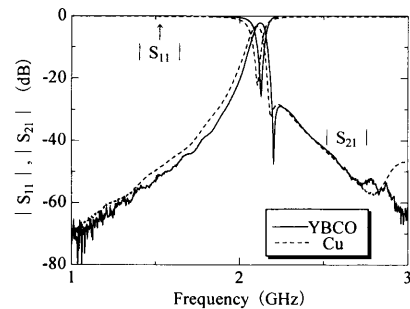


図5. 3段BPFの伝送特性

研究発表

- 1) H. Kanaya, T. Kaneyuki, H. Senoh, Y. Cho and I. Awai: 「Microwave Measurement of Coplanar-type Resonator Fabricated with YBCO Film」; Applied Superconductivity, Vol.5, No.6, pp.193-199. (1998.6.)
- 2) T. Kaneyuki, H. Kanaya and I. Awai: 「Superconducting Coplanar Filters with Attenuation Poles」; IEICE Transactions on Electronics E81-C, pp.1366-1367. (1998.8.)
- 3) H. Kanaya, T. Kaneyuki, H. Senoh, H. Ueno and I. Awai: 「Fabrication of 2-pole Coplanar Waveguide Bandpass Filter using YBaCuO Sol-Gel Film」; 1998 European Microwave Conference Proc., Vol.2, pp. 205-209. (1998.10.)
- 4) H. Kanaya, H. Senoh, T. Kaneyuki and I. Awai: 「Coplanar Quarter-Wavelength Resonator Filters fabricated by the Superconducting Sol-Gel Films」; IEEE Trans. Appl. Supercond., 1999.6. (in press).

グループメンバー

氏名	所属	職(学年)
栗井 郁雄	工・電気電子	教授
金谷 晴一	工・電気電子	助手
呉 祥応	理工・電気電子	非常勤研究員
和田 光司	理工・システム工学	D3
妹尾 英博	理工・電気電子	M2
戦 麗妹	理工・電気電子	M1

連絡先

TEL: 0836-35-9455 FAX: 0836-35-9455
E-mail: awai@po.cc.yamaguchi-u.ac.jp