

## (15) 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 栗井 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、アンテナ等の 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) 及び Bi-Sr-Ca-Cu-O (BSCCO)} 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。

### 得られた成果

原料溶液を多結晶 MgO 基板に塗布し、仮焼成の後、YBCO 膜については酸素雰囲気中で、BSCCO 膜については大気中でそれぞれ最終熱処理を行うことにより均一な膜を作製した。ここで、塗布-仮焼成回数を変化させることにより膜厚を制御した。YBCO 膜については低温において常伝導体 (銅) よりも優れた特性を安定に得るノウハウを得ているが、臨界温度が高く、高温での酸素処理アニールの必要がなく、また、化学的に安定である BSCCO 膜を、安価に大量に作製することは応用上非常に重要である。しかしながら、Sol-Gel 法により作製された BSCCO 膜の高周波特性に関する研究は未だ報告されていない。従って、BSCCO 膜の作製条件のうち最終熱処理温度 ( $T_{max}$ ) をパラメータとして成膜し、その高周波表面抵抗、ならびに熱拡散率測定装置 (Laser PIT、真空理工) を用いた常温での熱拡散率測定を行った。X線回折実験及び直流四端子法による直流抵抗特性についても合わせて測定した。

図1に30K、9.9GHzにおける BSCCO 膜の表面抵抗 ( $R_s$ ) の  $T_{max}$  依存性を銅のデータとともに示す。 $R_s$  は  $T_{max}=785\text{C}$  付近において最良の値を示し、銅のそれとほぼ同等の値であった。このことから、従来バルク材料の作製に用いられてきた粉碎混合、プレス加工及び高温でのアニール工程を必要としない成膜技術の可能性が示唆された。

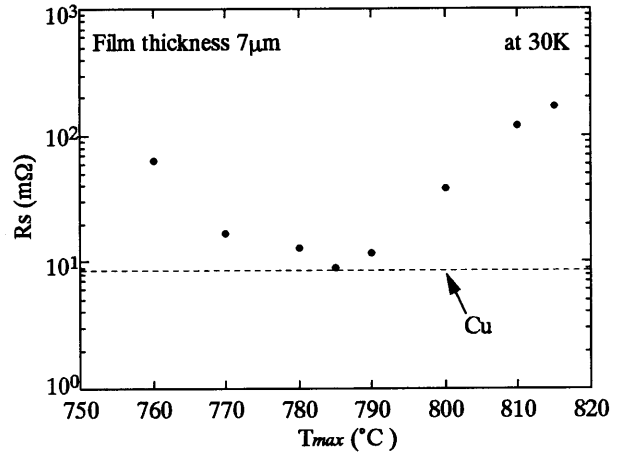


図1 表面抵抗 ( $R_s$ ) の最終熱処理温度 ( $T_{max}$ ) 依存性

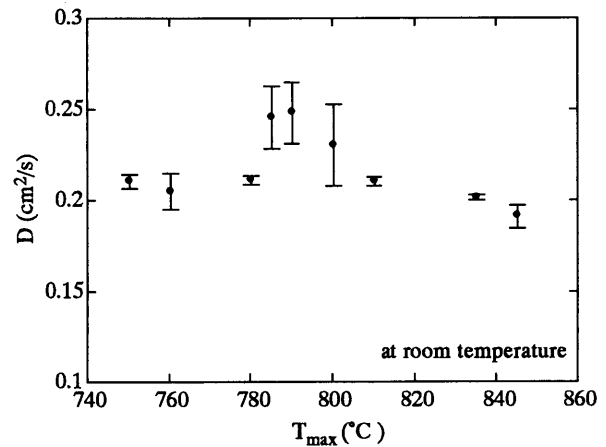


図2 熱拡散率 ( $D$ ) の最終熱処理温度 ( $T_{max}$ ) 依存性

また、図2に常温における熱拡散率 ( $D$ ) の  $T_{max}$  依存性を示す。常温において図1と同様  $T_{max}=785\text{C}$  付近に熱拡散率の増大がみられ、結晶粒界がより密に結合しているのではないかと考えられる。熱拡散率測定装置を用いることにより、常温で超伝導体の特性が評価可能であるということが明らかとなった。

次に、上記の成膜方法で本研究グループにより作製された高温超伝導 (YBCO) を用いて、高周波回路の基本素子であるコプレーナ型共振器を種々の共振周波数において作製した。また、それらを組み合わせたコプレーナ型バンドパスフィルタ (BPF) 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ている 2 GHz 付近とした。

図3に3段の BPF の回路パターンを示す。この BPF は通過域の両側に減衰極が出現するため、より

急峻なスカート特性を持っている。図4に測定温度30KでのYBCO-BPFの伝送特性を示す。中心周波数1.948GHz、比帯域幅2.43%において挿入損失2.4dBであった。なおYBCO膜の9.9GHz付近における $R_s$ は30Kにおいて5m $\Omega$ である。また、通過域の両側に相当する1.78GHzと2.23GHzに減衰極を実現している。銅を用いたBPFにおいては挿入損失が5.5dBとなり、28%程度しか電力が通過していない。従って多段化及び狭帯域化を行う際には、超伝導膜の利用が必要となる。

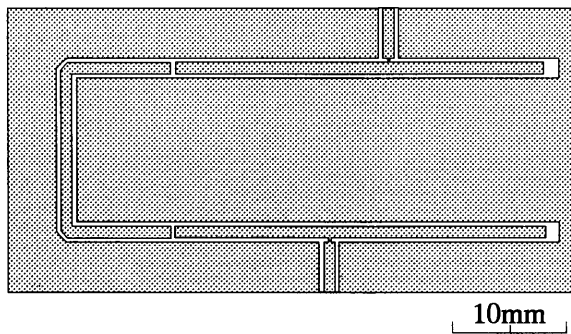


図3 3-pole BPFの回路パターン

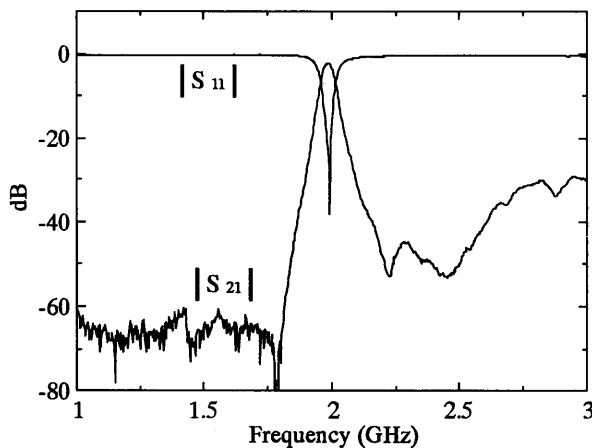


図4 YBCO 3-pole BPFの伝送特性 (30K)

#### 産業技術への貢献

移動体通信用端末の急激な普及による周波数帯域の過密化により、狭帯域で低損失のフィルタが必要不可欠となっている。高温超伝導膜を用いたマイクロ波デバイスを、安価にしかも大量に得ることができれば、現在用いられている金属（銅等）を用いたデバイスに比べて極端に低損失な特性により、周波数資源の有効利用がはかられ、今後の高度情報化社会を支えるキーデバイスになると考えられる。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はかられる。

#### 研究発表

- 1) Haruichi Kanaya, Tomohiko Kaneyuki, Hidehiro Senoh, Yasuo Cho and Ikuo Awai : 「Microwave Measurement of Coplanar-type Resonator Fabricated with YBCO Film」 ; 4th International Union of Materials Research Societies, International Conference in Asia 97, 1997. 9.
- 2) Haruichi Kanaya, Tomohiko Kaneyuki, Hidehiro Senoh, Yasuo Cho and Ikuo Awai : 「Microwave Characteristics of YBaCuO Coplanar Waveguide Resonators Fabricated by Sol-Gel Process on Polycrystalline MgO」 ; Jpn. J. Appl. Phys., 36, p.6311-6315, 1997.10.
- 3) Haruichi Kanaya, Yoshihiro Sakimoto, Yasuo Cho and Ikuo Awai : 「Measurement of Surface Impedance of Bi(Pb)-Sr-Ca-Cu-O Film under a DC Magnetic Field」 ; Jpn. J. Appl. Phys., 37, 1998. 2 (in press).
- 4) Haruichi Kanaya, Hidehiro Senoh, Tomohiko Kaneyuki, Yasuo Cho and Ikuo Awai : 「Microwave Measurement of Surface Resistance for YBCO Films by the Sol-Gel Process Using Metal Naphthenates」 ; Rept. Prog. Polym. Phys. Jpn., 40, 1998. 2 (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
巖 華	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
上野 博之	理工・電気電子	M2
兼行 智彦	理工・電気電子	M2

#### 連絡先

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