

氏 名	ふく さこ たけし 福 迫 武
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	博 甲 第 148 号
学位授与の日付	平成 9 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科・専 攻	工学科学研究科 情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	高温超伝導体を用いたマイクロ波フェライトデバイスに関する研究
審 査 委 員	(主査) 教 授 堤 誠 教 授 中 山 純 一 教 授 松 浦 基 浩

論文内容の要旨

第 1 章は序論であり、高温超伝導体を用いたマイクロ波フェライトデバイスの有用性について概説すると共に、本研究に関連する従来の研究の概要ならびに問題点を示し、著者が行った研究の目的と意義とを述べて、本論文がこの分野において占める位置を明らかにしている。

第 2 章では、イットリウム・鉄・ガーネット (YIG) 薄膜と高温超伝導体 YBCO を組み合わせた層状の導波路における表面静磁波の基礎的な伝搬特性について、主に非可逆性に注目して理論的、実験的に検討している。

最初に、2 流体モデルから求められる $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (YBCO) の等価複素誘電率と、YIG 薄膜の透磁率テンソルからこの導波路の分散特性を求め、さらに YIG-YBCO 間の間隙の影響も考慮して、分散特性の理論的な検討を行っている。その結果、伝搬方向により、理論的には約 2.4 GHz に亘って非可逆性が現れ、さらにこの非可逆性を与える帯域は YIG-YBCO 間の間隙を変化させることで制御できることを示している。また YIG の磁気損失の影響についても検討し、損失が 10 e 程度になると超伝導体による損失の軽減効果が失われることを明らかにしている。

次に液体窒素温度 77 K においてこの導波路の非可逆性を YIG-YBCO との間隙を変えて実験を行い、銅の場合と比較しながらその特性を検討した。その結果、理論的に予測した非可逆が 3 GHz 付近において現れるとともに間隙を変えることで非可逆性帯域を制御できることを実験的にも確かめている。

さらに表面静磁波の遅延特性について実験的ならびに理論的に検討すると共に、低温時における YIG の損失についても検討した。終わりに、この導波路の応用として低温におけるマイクロ波アイソレータを提案している。

第 3 章では、磁気同調を与えるマイクロ波超伝導共振器についての研究である。この研究を進める前に、YIG 薄膜基板上に銅で作成された半波長マイクロストリップ共振器の共振特性について主に実験的に検討している。その結果、共振周波数が外部磁界に応じて変化する磁気同調性が室温で 300 MHz ほど得られ、最大 Q 値は約 150 程度であった。さらに構造に変化を持たせ、サスペンデッド構造の共振器についても検討を行っている。

次に銅によって構成された共振器の基礎データに基づいて、YBCO で作成された半波長マイクロストリップ共振器に YIG 薄膜を装荷した形で共振器を構成し、ストリップ線路の伝搬方向に対し横方向に直流磁界を加え、その磁気同調性、及び負荷 Q 値を銅による共振器の特性と比較しつつ、実験的に検討している。その結果、6 GHz 付近で 400 MHz ほどの磁気同調性がこの構造の共振器で得られ、最大負荷 Q 値は 550 程度である。一方、この実験を通じて GGG の損失が Q 値に大きく影響することを見い出してい

る。この影響を避けるために GGG を伴わない YIG 単結晶を使って同様な共振器を構成し、その磁気同調性、負荷 Q 値について検討している。その結果、200 MHz の磁気同調性と最大 965 の負荷 Q 値が観測され、ほぼ目標とした磁気同調マイクロ波共振器が実現されている。一方、共振器と入出力端子を結合する容量性ギャップの大きさを狭くした共振器を試作し、挿入損を減らしている。さらにマイクロストリップ超伝導共振器の磁気同調性について、スペクトル領域法から求まる理論特性と比較検討している。

第 4 章では、提案した共振器の磁気同調性をさらに広げるために、同調性に関する理論的、実験的検討を行っている。第 3 章と同じく解析手法としてスペクトル領域法を用い、共振器を構成しているストリップ線路の電流分布を高次の項を含めて、より厳密な形で定義し、理論解析し、その分散特性を求めている。

その結果、分散特性は準 TEM モードと非可逆性を有する表面静磁波モード、そして体積静磁波の高次モードとが混在した形で表されている。次に、YIG 単結晶及び多結晶を基板とする $\lambda/2$ マイクロストリップ共振器を試作し、実験を行い、その共振特性を理論で求めた各モードの分散特性の観点から確かめている。その結果、表面静磁波と準 TEM モードとが混在する帯域、そして体積静磁波の高次モードと準 TEM モードが結合する帯域、並びにストリップの横方向に放射されるモードが存在する帯域においては磁気同調性が失われることを明らかにしている。終わりに、この様な形の共振器は 77 K におけるマイクロ波共振器として十分実用的な性能を有することを強調している。

第 5 章は結論であり、本研究で得られた成果の総括ならびに今後の課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は高温超伝導体 YBCO を用いたマイクロ波フェライトデバイスに関する理論的ならびに実験的な成果をまとめたものであり、その内容は大きくわけて 3 つの分野からなる。

1) フェライト (イットリウム・鉄・ガーネット; Yttrium Iron Garnet-YIG) 薄膜と高温超伝導体薄膜 YBCO とを組み合わせた複合導波路を従来、銅によって構成されていた導波路に代わって新しく提案し、この導波路を伝搬する電磁波に関して超伝導体の 2 流体モデルを基礎としてその分散特性を詳しく理論的に検討している。その結果、超伝導体の臨界温度に近づくにつれて、電磁波に大きな非可逆性が広帯域にわたって現れることを明らかにしている。次に厚さ $100\ \mu\text{m}$ の YIG 薄膜そしてレーザによって作成された厚さ $6000\ \text{\AA}$ と YBCO を用いて実際にこの複合導波路を構成し、2 GHz から 4 GHz のマイクロ波帯において実験を行い、理論値と比較すると共に 77 K において銅の場合よりも大きな非可逆性を観測している。

終わりにこの導波路の 1 つの応用として 77 K におけるマイクロ波のアイソレータを提案している。

2) 誘電体と超伝導体とを組み合わせたマイクロ波共振器はすでに情報通信機器に実用化されているが、これらは電子的に同調できない。ここでは YBCO と YIG (薄膜または単結晶) とを組み合わせ電子同調形マイクロ波超伝導共振器を新しく提案している。まずこのタイプの共振器の特性を知るために銅と YIG 薄膜とを組み合わせいくつかの電子 (磁気) 同調共振器の試作実験を繰り返し、良好な電子同調特性を与える共振器の構造を提案している。次に YBCO を用いてこの共振器を試作し、77 K において実験を行い、6 GHz において共振器の良さを与える Q 値は 965、そして 200 MHz の電子同調性を観測している。

一方、スペクトル領域法とよばれる高度な電磁界解析を駆使し、理論的な検討も加えている。

3) 共振器の電子同調性はなるべく広い方が望ましく、ここでは同調性の限界について検討している。まずスペクトル領域法による解析において問題となるマイクロストリップ線路の電流分布を高次項を含めたより厳密な形で定義し、共振器の共振モードチャートを導出している。その結果、準 TEM、表面静磁波、体積静磁波、そして、スローウェーブモードと呼ばれる 4 つの異なったモードがこの共振器には存在し、その中でも静磁波モードが電子同調性に限界を与えていることを明らかにしている。

次に、この静磁波の影響について実験的にも調べられ、広い電子同調特性を得るためには、薄い YIG 単結晶スラブが有効であることを述べている。

以上、これらの研究はいずれも独創性に富んでおり、学術ならびに工学的にも高く評価されるものと判断する。

また、申請者はレフェリーシステムの確立した学術雑誌に 3 件を公表しており、さらに 12 件の口頭発表論文がある。したがって、学位授与に関する複数学術論文の公表とその内一件は筆頭著者の条件を十分満足している。

結論として申請者の論文は学位申請に値する。