

氏名	かわしま しゅんいちろう 河島 俊一郎
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第2338号
学位授与の日付	平成2年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	Ba (Zn _{1/3} Ta _{2/3}) O ₃ -Ba (Zn _{1/3} Nb _{2/3}) O ₃ 系、及び BaO-Sm ₂ O ₃ -TiO ₂ 系セラミックスの製造法とマイクロ波周波数帯における誘電特性に関する研究
論文調査委員	(主査) 教授 川端 昭 教授 小倉久直 教授 曾我直弘

論文内容の要旨

近年、通信情報量の増加に伴ない、衛星放送、衛星通信や自動車電話などにはマイクロ波周波数帯が使用されるようになった。半導体技術の進歩により、GaAsFETなどマイクロ波用能動素子が小型で安価になり、従来の立体回路が平面回路で構成できるようになったため、これにより共振器やフィルタなども小型化が要望されている。本論文は、マイクロ波周波数帯における小型誘電体共振器に適したセラミック材料の開発とその応用に関する実験的研究についてまとめたもので、7章からなっている。

第1章は序論で、マイクロ波用誘電体材料に関する歴史的背景について述べ、本研究の目的と位置付けについて述べている。

第2章では、誘電体共振器の原理とそれに用いる材料の誘電特性の測定法について検討している。即ち、誘電体共振器の共振周波数は厳密解を求めることが困難なため、磁気壁近似と誘電体線路近似について検討し、誘電体共振器に比べて寸法の充分大きい金属板を上下から密着してはさむ密着法により、材料の誘電特性が精度よく測定できることを示した。とくにQ値に及ぼすプローブの位置による影響も明らかにしている。さらに、円筒金属容器中に誘電体共振器を入れた構造では、共振器の寸法に比べて容器の内径を5倍以上にすると、金属壁の導電損失が無視できることを示し、本研究では誘電率の測定に密着法を、Q値と共振周波数の温度依存性の測定には円筒金属容器を採用した根拠について説明している。

第3章では、セラミックコンデンサ材料の誘電特性を整理し、マイクロ波用材料の組成探索指針を検討している。まず、誘電率が大きい程その温度依存性が大きいという経験則について考察し、単なる混合系では高誘電率で低温度係数の材料が得にくいことを指摘している。つぎに、誘電損失の原因について分析し、高誘電率材料は誘電損失も大きい実情を示し、マイクロ波用材料組成の探索には、既存材料を中心としてその周辺を検討せざるを得ないとし、ABO₃化合物のBサイトにTaまたはNbをもつ複合ペロブスカイト系と、BaO希土類-TiO₂系に着目した理由について述べている。

第4章では、(1-X)Ba(Zn_{1/3}Ta_{2/3})O₃-XBa(Zn_{1/3}Nb_{2/3})O₃系セラミックスのマイクロ波誘電特性について検討している。まず、出発原料としてBaCO₃、ZnO、Nb₂O₅およびTa₂O₅を選び、ホットプレス法

と普通焼成法との比較、焼成温度と時間の影響などを詳細にしらべ、 $X=O$ の組成で、 1350°C 120時間の普通焼成で、 $Q=15,000$ に達することを示し、 X 線回折により長時間焼成で Zn と Ta の規則配列比が進むことと関係があるとしている。また、 $X=0.03$ の組成付近で、共振周波数の温度係数が $-1.3\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ の負特性を示すことを見出している。これらの実験結果を分析し、誘電損失に及ぼす空孔の効果と粒界の影響は、ほとんどないと結論している。なお、 ZnO の蒸発と焼結性との関連を検討し、 Ba 不足($\sim 1\%$)の組成で SiO_2 を微量添加することにより焼結性が向上することを指摘した。しかし、 ZnO の蒸発と Q 値との関連など残された課題も多いとしている。

第5章では、 $\text{BaO-Sm}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 系セラミックスについて、マイクロ波周波数帯で大きい誘電率をもち、低損失で温度係数が零となる組成を見出している。即ち、系統的に組成比を変えた試料を作製し、新しい化合物 $\text{BaSm}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10}$ と $\text{BaSm}_2\text{Ti}_5\text{O}_{14}$ の存在を見出し、後者の相の存在が好ましい特性に寄与していることを示した。さらに、 $\text{BaO}:\text{SmO}_{3/2}:\text{TiO}_2$ の比が $12.5:27.5:60$ のとき、比誘電率が80で零温度係数を示し、 $Q=3500$ の優れた性質を示すことを明らかにした。

第6章では、各種誘電体共振器の構成と応用について検討を加えている。まず、各種共振器を比較検討し、 $\text{BaO-Sm}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ 系は 2 GHz 以下の同軸型共振器に、また、 4 GHz 以上では $\text{Ba}(\text{Zn}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ 系を用いた TE モード共振器を提案している。ついで、フィルタへの応用については、 800 MHz 帯自動車電話用小型損失バンドパスフィルタと 10 GHz 帯の TE モード誘電体フィルタを提案している。最後に、 GaAsFET と誘電体共振器を組合せた発振器を提案し、周波数安定度 $\pm 20\text{ ppm}$ ($0\sim 50^{\circ}\text{C}$)の値を実現している。

第7章は結論で、本研究で得られた成果を要約している。

論文審査の結果の要旨

情報化時代を迎え、通信に使用される周波数帯は上昇の一途を辿っている。 GaAsFET などの高周波用能動素子が開発され、マイクロ波通信の需要が高まり、回路の小型化さらには集積化が要求されている。本論文はマイクロ波周波数帯における小型誘電体共振器に適したセラミック材料の開発とその応用に関する実験的研究結果をまとめたもので、得られた成果の主なものは次のとおりである。

1. マイクロ波共振器材料の誘電特性の測定方法について検討し、比誘電率の測定には試料の上下を金属板ではさむ密着法が、また、 Q 値と共振周波数の温度依存性の測定には、金属円筒容器を用いる方法が簡便で、精度よくできることを示した。

2. $(1-X)\text{Ba}(\text{Zn}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3\text{-XBa}(\text{Zn}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_3$ 系セラミックスのマイクロ波周波数帯における誘電特性について検討し、長時間普通焼成により、 $X=0.03$ の組成で共振周波数の温度係数が $0\pm 0.5\text{ ppm}/^{\circ}\text{C}$ 、 $\epsilon_r=30$ 、 $Q=10000$ の優れたセラミックスを見出し、 4 GHz 以上の周波数で有用な材料であることを明らかにした。

3. 上記の組成で、 ZnO の蒸発と焼結性、 Q 値との関連性などについて調べ、原料配合で Ba 成分を $1\text{ mol}\%$ 減らし、 SiO_2 を微量添加することにより焼結性が向上することを示し、長時間焼成により Zn と Ta の規則配列化が進んで誘電損失が減少することを指摘し、空孔と粒界の存在が損失に及ぼす影響は小

さいと結論している。

4. BaO-Sm₂O₃-TiO₂系セラミックスのマイクロ波周波数帯における誘電特性について検討し、BaSm₂Ti₃O₁₀とBaSm₂Ti₅O₁₄の化合物が生成することを見出した。とくに、後者の組成近傍で比誘電率が大きく、その温度係数が小さく、かつQ値が大きいことを見出した。

5. BaO:SmO_{3/2}:TiO₂の組成比が、12.5:27.5:60のとき、比誘電率が80、共振周波数の温度係数が0で、3500のQを得、2GHz以下の周波数で有用な材料であることを示した。

6. 得られた誘電材料を用いた各種誘電体共振器の構造を検討し、2GHz以下では同軸共振器を、4GHz以上ではTEモード共振器を提案し、量産性に富む、小型で信頼性のある自動車用携帯電話のフィルターや衛星放送受信器の局部発振器などへの実用化を実現した。

以上要するに、本研究はマイクロ波通信に必要とされる誘電体共振器に使用可能なセラミックス材料として、Ba(Zn_{1/3}Ta_{2/3})O₃系とBaO-Sm₂O₃-TiO₂系を開発し、自動車電話用携帯型小型受信器や衛星放送受信器などへの実用化に貢献したもので、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成元年12月11日に論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。