

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-12252

(P2012-12252A)

(43) 公開日 平成24年1月19日(2012.1.19)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>CO4B 35/20 (2006.01)</b>	CO4B 35/20	4G030
<b>HO1B 3/12 (2006.01)</b>	HO1B 3/12 333	5E001
<b>HO1G 4/30 (2006.01)</b>	HO1G 4/30 301E	5E082
<b>HO1G 4/12 (2006.01)</b>	HO1G 4/12 358	5G303

審査請求 有 請求項の数 7 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2010-150216 (P2010-150216)	(71) 出願人	000003067 TDK株式会社 東京都中央区日本橋一丁目13番1号
(22) 出願日	平成22年6月30日 (2010.6.30)	(74) 代理人	100089118 弁理士 酒井 宏明
		(72) 発明者	櫻井 俊雄 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 TDK株式会社内
		(72) 発明者	嵐 友宏 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 TDK株式会社内
		(72) 発明者	小更 恒 東京都中央区日本橋一丁目13番1号 TDK株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 誘電体磁器、誘電体磁器の製造方法及び電子部品

(57) 【要約】

【課題】 低温で焼成して得ることを可能としつつ、焼結性を確保し、優れた誘電特性を有する誘電体磁器、誘電体磁器の製造方法及び電子部品を提供する。

【解決手段】 本発明に係る誘電体磁器組成物は、 $Mg_2SiO_4$ を含む主成分と、亜鉛酸化物及びガラス成分を含み、かつアルミニウム酸化物とチタン酸化物との何れか一方又は両方を含む副成分とを含む。

【選択図】 なし

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>を含む主成分と、  
 亜鉛酸化物及びガラス成分を含み、かつアルミニウム酸化物とチタン酸化物との何れか一方又は両方を含む副成分と、  
 を含むことを特徴とする誘電体磁器。

## 【請求項 2】

前記ガラス成分は、Li<sub>2</sub>Oを含むガラスを少なくとも1つ以上含む請求項1に記載の誘電体磁器。

## 【請求項 3】

前記亜鉛酸化物の含有量が、10質量部以上16質量部以下である請求項1又は2に記載の誘電体磁器。

## 【請求項 4】

Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>を含む主成分と、亜鉛酸化物及びガラス成分を含み、かつアルミニウム酸化物とチタン酸化物との何れか一方又は両方を含む副成分とを含む誘電体磁器を製造するにあたり、酸化マグネシウムの原料粉末と二酸化珪素の原料粉末とを混合して熱処理し、Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>結晶粉末を作製し、前記Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>結晶粉末に、副成分原料粉末として、アルミニウム酸化物とチタン酸化物との何れか一方又は両方と前記亜鉛酸化物と前記ガラス成分とを添加し、誘電体磁器組成物を得る誘電体磁器組成物の作製工程と、

前記誘電体磁器組成物を酸素雰囲気下において800 以上1000 以下の温度で焼成して、焼結体を得る焼成工程と、  
 を含むことを特徴とする誘電体磁器の製造方法。

## 【請求項 5】

前記ガラス成分として、Li<sub>2</sub>Oを含むガラスを少なくとも1つ以上含む請求項4に記載の誘電体磁器の製造方法。

## 【請求項 6】

前記亜鉛酸化物の含有量を、10質量部以上16質量部以下とする請求項4又は5に記載の誘電体磁器の製造方法。

## 【請求項 7】

請求項1乃至3の何れか一つに記載の誘電体磁器からなる誘電体層を有することを特徴とする電子部品。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、マイクロ波、ミリ波など高周波領域で使用される電子部品に使用される誘電体磁器、誘電体磁器の製造方法及び電子部品に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、需要が増加している携帯電話等の移動体通信機器では、数百MHzから数GHz程度のいわゆる準マイクロ波と呼ばれる高周波帯域が使用されている。そのため、移動体通信機器に用いられるコンデンサ、フィルター、共振器、回路基板等の電子部品においても高周波帯域での使用に適した諸特性が要求されている。

## 【0003】

高周波帯域で使用される電子部品の一つである回路基板は、電極や配線等の導体（以下、「導体材」という。）を備え、磁性体と誘電体とを組み合わせるLCフィルター、高誘電率材料と低誘電率材料とを組み合わせるコンデンサなどを内蔵し、LCフィルターやコンデンサなどの回路を形成している。

## 【0004】

回路基板では、その配線層での配線間容量に起因する信号遅延を低減するため、基板の比誘電率  $\epsilon_r$  を低くすることが必要となる。また、回路基板では、高周波信号を減衰させ

10

20

30

40

50

ないため、基板の  $Qf$  値を大きくすること（即ち、誘電損失を小さくすること）が必要となる。従って、回路基板用の材料としては、使用周波数における比誘電率  $r$  が低く、且つ  $Qf$  値が大きい誘電体材料が要求される。 $Q$  は、誘電体における現実の電流と電圧の位相差と、理想の電流と電圧の位相差  $90$  度との差である損失角度の正接  $\tan$  の逆数であり、 $f$  は共振周波数である。 $Qf$  値は、品質係数  $Q = 1 / \tan$  と共振周波数  $f$  との積で表され、 $Qf$  値が大きくなると、誘電損失は小さくなる。

【0005】

一般に誘電率の低い材料は誘電損失が小さいものが多く、マイクロ波領域のデバイスに使用されており、例えば、LCフィルタは高誘電率材料と低誘電率材料とを同時焼成して形成される。LCフィルタはそのL部を構成する部分のセラミック材料に自己共振周波数を高く取れるように高いQ値を有する低誘電率材料を、C部に温度特性が良く誘電率の高い材料を用いることで温度特性の良い高Q値を有するLC素子を実現できる。

10

【0006】

このような誘電体材料としては、例えば、フォルステライト ( $Mg_2SiO_4$ ) を主成分とし、亜鉛酸化物、ホウ素酸化物、アルカリ土類金属酸化物、銅化合物、及びリチウム化合物を副成分として含む誘電体磁器組成物（以下、「フォルステライト系組成物」という。）が提案されている（例えば、特許文献1参照）。フォルステライト系組成物は、導体材である金属  $Ag$  又は  $Ag$  系合金（以下、 $Ag$  系金属という。）の融点より低い温度（低温）で焼成することが可能となり、基板としての強度を上昇させることができることから、回路基板用の誘電体材料に適している。

20

【0007】

即ち、フォルステライト系組成物の焼結温度は約  $1000$  以下であり、従来の誘電体磁器組成物の焼結温度より低いため、 $Pd$  や  $Pt$  などの従来から用いられてきた導体材に比べて融点が低く、低抵抗であり、且つ安価な  $Ag$  系金属を導体材として用いることができる。そのため、フォルステライト系組成物は、低温（ $Ag$  系金属の融点より低い温度）で同時焼成することが可能である。そのため、フォルステライト系組成物を用いて回路基板を形成する際、フォルステライト系組成物は  $Ag$  系金属などの導体材と同時に焼成可能な低温焼成材料（ $LTC$ ）として用いられ、各層にLCフィルタやコンデンサなどの回路を形成することが可能である。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開  $2009 - 132579$  号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、従来のフォルステライト系組成物は、本焼成した後、焼結助剤として添加している亜鉛酸化物などの焼結助剤が未反応のまま残るため、得られる誘電体磁器の誘電損失が大きくなる、という問題がある。

【0010】

40

また、焼結助剤の添加量を減らし、未反応物の焼結助剤を軽減した場合、フォルステライト系組成物を焼成して得られる焼成材料の焼結性を損ない、基板の誘電損失を上昇させ、強度を悪化させる、という問題がある。

【0011】

そのため、フォルステライト系組成物を用いて低温で焼成した後未反応の焼結助剤が残るのを抑制すると同時に、焼結助剤を完全に反応させて、焼結性を確保すると共に、誘電特性の優れた誘電体磁器が求められている。

【0012】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、低温で焼成して得ることを可能としつつ、焼結性を確保し、優れた誘電特性を有する誘電体磁器、誘電体磁器の製造方法及び電

50

子部品を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0013】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明者らは誘電体磁器、誘電体磁器の製造方法及び電子部品物について鋭意研究をした。その結果、 $Mg_2SiO_4$ を主成分とし、亜鉛酸化物及びガラス成分を副成分として含む誘電体磁器に、副成分として、更に、アルミニウム酸化物とチタン酸化物との何れか一方又は両方を含めることにより、誘電体磁器の焼結性を確保することができ、誘電体磁器は優れた誘電特性を有することができることを見出した。本発明は、かかる知見に基づいて完成されたものである。

【0014】

本発明に係る誘電体磁器は、 $Mg_2SiO_4$ を含む主成分と、亜鉛酸化物及びガラス成分を含み、かつアルミニウム酸化物とチタン酸化物との何れか一方又は両方を含む副成分とを含むことを特徴とする。

【0015】

上記組成によれば、副成分として含まれるガラス成分が液相としての役割を果たし、未反応で残る焼結助剤と $Mg_2SiO_4$ との反応性を促進し、誘電体磁器組成物の焼成後に未反応で残る焼結助剤を低減することができると共に、焼結助剤を完全に反応させることができるため、誘電体磁器の焼結性を確保することができる。また、アルミニウム酸化物及びチタン酸化物は、各々Q値が高いため、誘電体磁器組成物を焼成して得られる誘電体磁器の焼結性を確保することで、誘電体磁器のQ値を上昇させ、誘電損失を小さくすることができる。また、上記組成によれば、低温（Ag系金属の融点より低い温度）で誘電体磁器組成物をAg系金属と同時焼成することができる。また、上記組成によれば、低温（Ag系金属の融点より低い温度）で誘電体磁器組成物をAg系金属と同時焼成する際、誘電体磁器組成物の焼成温度の低下に伴い生じる誘電体磁器の抗折強度の低下を抑制することができる。このため、低温（Ag系金属の融点より低い温度）で焼成して得られる誘電体磁器の抗折強度を、従来フォスフェイト系組成物を焼成して得られる誘電体磁器よりも向上させることができる。

【0016】

尚、誘電体磁器組成物とは、誘電体磁器の原料組成物であり、誘電体磁器とは、誘電体磁器組成物を焼結させることによって得られる焼結体である。また、焼結とは、誘電体磁器組成物を加熱することで、誘電体磁器組成物が焼結体（誘電体磁器）となり、緻密な物体になる現象である。一般に、加熱前の誘電体磁器組成物に比べて、焼結体（誘電体磁器）の密度、機械的強度等は大きくなる。また、焼結温度とは、誘電体磁器組成物が焼結する際の誘電体磁器組成物の温度である。また、焼成とは、焼結を目的とした加熱処理を意味し、焼成温度とは、加熱処理の際に誘電体磁器組成物が曝される雰囲気温度である。

【0017】

本発明の好ましい態様として、前記ガラス成分は、 $Li_2O$ を含むガラスを少なくとも1つ以上含むことが好ましい。ガラス成分が $Li_2O$ を含むことで、更に未反応な焼結助剤と $Mg_2SiO_4$ との反応を促進し、誘電体磁器組成物の焼成後、誘電体磁器中に未反応で残る焼結助剤を更に低減すると共に、焼結助剤を完全に反応させることができるので、誘電体磁器の焼結性は更に安定して確保できる。このため、得られる誘電体磁器のQ値は更に上昇させることができ、誘電損失を更に小さくすることができる。また、誘電体磁器の抗折強度を更に安定させることができる。

【0018】

本発明の好ましい態様として、前記亜鉛酸化物の含有量が、10質量部以上16質量部以下であることが好ましい。前記亜鉛酸化物（特に、 $ZnO$ ）は、誘電体磁器組成物をAg系金属と同時焼成する際に、低温（Ag系金属の融点より低い温度）で焼成するのに寄与するため、前記亜鉛酸化物の含有量を上記範囲内とすることで、低温（Ag系金属の融点より低い温度）で誘電体磁器組成物をAg系金属と安定して同時焼成させ、誘電体磁器を得ることができる。

10

20

30

40

50

## 【0019】

本発明に係る誘電体磁器の製造方法は、 $Mg_2SiO_4$ を含む主成分と、亜鉛酸化物及びガラス成分を含み、かつアルミニウム酸化物とチタン酸化物との何れか一方又は両方を含む副成分とを含む誘電体磁器を製造するにあたり、酸化マグネシウムの原料粉末と二酸化珪素の原料粉末とを混合して熱処理し、 $Mg_2SiO_4$ 結晶粉末を作製し、前記 $Mg_2SiO_4$ 結晶粉末に、副成分原料粉末として、アルミニウム酸化物とチタン酸化物との何れか一方又は両方と前記亜鉛酸化物と前記ガラス成分とを添加し、誘電体磁器組成物を得る誘電体磁器組成物の作製工程と、前記誘電体磁器組成物を酸素雰囲気下において800以上1000以下の温度で焼成して、焼結体を得る焼成工程と、を含むことを特徴とする。

10

## 【0020】

酸化マグネシウムの原料粉末と二酸化珪素の原料粉末とを混合して熱処理し、 $Mg_2SiO_4$ 結晶粉末を作製し、 $Mg_2SiO_4$ 結晶粉末に、副成分原料粉末として、アルミニウム酸化物とチタン酸化物との何れか一方又は両方と亜鉛酸化物とガラス成分とを添加することで、副成分として、アルミニウム酸化物とチタン酸化物との何れか一方又は両方と亜鉛酸化物とガラス成分とを含む誘電体磁器組成物を得ることができる。また、上記組成を有する誘電体磁器組成物は、酸素雰囲気下において800以上1000以下の温度で焼成でき、低温（Ag系金属の融点より低い温度）でAg系金属と同時焼成することができる。また、誘電体磁器組成物を低温（Ag系金属の融点より低い温度）焼成する際、副成分として含まれる亜鉛酸化物及びガラス成分が液相としての役割を果たし、未反応な焼結助剤と $Mg_2SiO_4$ との反応を促進することができる。これにより、誘電体磁器組成物の焼成後、誘電体磁器に未反応で残る焼結助剤を低減することができると共に、焼結助剤を完全に反応させることができるため、誘電体磁器の焼結性を確保することができる。また、アルミニウム酸化物及びチタン酸化物は、各々Q値が高いため、誘電体磁器組成物を焼成して得られる誘電体磁器の焼結性を確保することで、誘電体磁器のQ値を上昇させることができ、誘電損失を小さくすることができる。また、低温（Ag系金属の融点より低い温度）で誘電体磁器組成物をAg系金属と同時焼成する際、誘電体磁器組成物の焼成温度の低下に伴い生じる誘電体磁器の抗折強度の低下を抑制することができる。このため、低温（Ag系金属の融点より低い温度）で焼成して得られる誘電体磁器の抗折強度を、従来のフォルステライト系組成物を焼成して得られる誘電体磁器よりも向上させることができる。

20

30

## 【0021】

本発明の好ましい態様として、前記ガラス成分として、 $Li_2O$ を含むガラスを少なくとも1つ以上含むことが好ましい。ガラス成分が $Li_2O$ を含むことで、更に未反応な焼結助剤と $Mg_2SiO_4$ との反応を促進し、誘電体磁器組成物の焼成後、誘電体磁器に未反応で残る焼結助剤を更に低減すると共に、焼結助剤を完全に反応させることができるので、誘電体磁器の焼結性は更に安定して確保できる。このため、得られる誘電体磁器のQ値は更に上昇させることができ、誘電損失を更に小さくすることができる。また、誘電体磁器の抗折強度を更に安定させることができる。

## 【0022】

本発明の好ましい態様として、前記亜鉛酸化物の含有量を、10質量部以上16質量部以下とすることが好ましい。前記亜鉛酸化物（特に、 $ZnO$ ）は、誘電体磁器組成物をAg系金属と同時焼成する際に、低温（Ag系金属の融点より低い温度）で焼成するのに寄与するため、前記亜鉛酸化物の含有量を上記範囲内とすることで、低温（Ag系金属の融点より低い温度）で誘電体磁器組成物をAg系金属と安定して同時焼成させることができる。

40

## 【0023】

本発明に係る電子部品は、上記何れか一つに記載の誘電体磁器からなる誘電体層を有することを特徴とする。誘電体層には、本発明に係る誘電体磁器が用いられるため、Q値は大きく、誘電損失は小さくなるので、高周波帯域での使用に適した特性が得られ、信頼性

50

の高い電子部品を提供することができる。

【発明の効果】

【0024】

本発明によれば、低温で焼成して得ることを可能としつつ、焼結性を確保し、優れた誘電特性を有する誘電体磁器、誘電体磁器の製造方法及び電子部品を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】図1は、本実施形態に係る誘電体磁器の製造方法を示すフローチャートである。

【図2】図2は、本実施形態の電子部品をLCフィルターとした場合の一実施形態を模式的に示す概念断面図である。

【図3】図3は、本実施形態に係る電子部品の製造方法の一例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0026】

以下、本発明を好適に実施するための形態（以下、実施形態という。）につき、詳細に説明する。なお、本発明は以下の実施形態に記載した内容により限定されるものではない。また、以下に記載した実施形態における構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のもの、いわゆる均等の範囲のものが含まれる。さらに、以下に記載した実施形態で開示した構成要素は適宜組み合わせることが可能である。

【0027】

<誘電体磁器>

本実施形態に係る誘電体磁器は、 $Mg_2SiO_4$ を含む主成分と、亜鉛酸化物及びガラス成分を含み、かつアルミニウム酸化物とチタン酸化物との何れか一方又は両方を含む副成分とを含む。

【0028】

なお、本実施形態において、誘電体磁器組成物とは、誘電体磁器の原料組成物であり、誘電体磁器とは、誘電体磁器組成物を焼結させることによって得られる焼結体である。また、焼結とは、誘電体磁器組成物を加熱することで、誘電体磁器組成物が焼結体（誘電体磁器）となり、緻密な物体になる現象である。一般に、加熱前の誘電体磁器組成物に比べて、焼結体（誘電体磁器）の密度、機械的強度等は大きくなる。また、焼結温度とは、誘電体磁器組成物が焼結する際の誘電体磁器組成物の温度である。また、焼成とは、焼結を目的とした加熱処理を意味し、焼成温度とは、加熱処理の際に誘電体磁器組成物が曝される雰囲気温度である。

【0029】

誘電体磁器組成物を低温で焼成することが可能であるか否か（低温焼結性）の評価は、誘電体磁器組成物の焼成温度を徐々に下げて焼成し、本実施形態に係る誘電体磁器が所望の誘電体高周波特性が得られる程度に誘電体磁器組成物が焼結しているかどうかで判断することができる。また、本実施形態に係る誘電体磁器についての誘電特性は、 $Qf$ 値、温度変化による共振周波数の変化（共振周波数の温度係数  $f$ ）、及び比誘電率  $r$  によって評価することができる。 $Qf$ 値、比誘電率  $r$  は、日本工業規格「マイクロ波用ファインセラミックスの誘電特性の試験方法」（JIS R 1627 1996年度）に従って測定することができる。

【0030】

<主成分>

本実施形態に係る誘電体磁器には、 $Mg_2SiO_4$ （フォルステライト）が主成分として含まれる。 $Mg_2SiO_4$ は、単体での $Qf$ 値が200000GHz以上であり、誘電損失が小さいため、誘電体磁器の誘電損失を低下させる機能を有する。また、 $Mg_2SiO_4$ は、その比誘電率  $r$  が6から7程度と低いため、誘電体磁器の比誘電率  $r$  を低下させる機能も有する。ここで、誘電損失は、高周波のエネルギーの一部が熱となって放散する現象

10

20

30

40

50

である。誘電損失の大きさは、上記の通り、現実の電流と電圧の位相差と理想の電流と電圧の位相差 90 度との差である損失角度の正接  $\tan$  の逆数  $Q$  ( $Q = 1 / \tan$ ) で表わされる。誘電体磁器の誘電損失の評価は、この  $Q$  と共振周波数  $f$  の積である  $Qf$  値を用いている。誘電損失が小さくなれば  $Qf$  値は大きくなり、誘電損失が大きくなれば  $Qf$  値は小さくなる。誘電損失は高周波デバイスの電力損失を意味するため、誘電体磁器の  $Qf$  値は大きいことが好ましい。本実施形態では、誘電損失の評価は、 $Q$  値を用いる。

#### 【0031】

誘電体磁器の誘電損失を下げるという観点から、主成分に占める  $Mg_2SiO_4$  の割合が 100 質量部であることが好ましいが、比誘電率  $r$  を調整するため、 $Mg_2SiO_4$  以外の主成分を  $Mg_2SiO_4$  と併用することができる。 $Mg_2SiO_4$  以外の主成分としては、例えば比誘電率  $r$  が 17 前後であるチタン酸マグネシウム ( $MgTiO_3$ )、及び比誘電率  $r$  が 200 前後であるチタン酸カルシウム ( $CaTiO_3$ ) 等が挙げられる。

10

#### 【0032】

$Mg_2SiO_4$  を構成する  $MgO$  と  $SiO_2$  とのモル比は、化学量論的には  $MgO$  対  $SiO_2$  が 2 対 1 であるが、本実施形態はこれに限定されるものではなく、本実施形態に係る誘電体磁器の効果を損なわない範囲内で化学量論比から外れてもよい。例えば、 $MgO$  対  $SiO_2$  は、1.9 対 1.1 から 2.1 対 0.9 の範囲内とすることができる。

#### 【0033】

本実施形態の誘電体磁器中の  $Mg_2SiO_4$  の含有量は、誘電体磁器全体から後述する各副成分を除いた残部であることが好ましい。誘電体磁器がこのような条件で主成分である  $Mg_2SiO_4$  を含むことで、誘電損失及び比誘電率  $r$  を低下する効果が確実に得られるようになる。なお、主成分として上記のような  $Mg_2SiO_4$  以外の成分を含む場合、主成分の合計は誘電体磁器全体から後述の各副成分を除いた残部となる。

20

#### 【0034】

##### < 副成分 >

本実施形態の誘電体磁器は、主成分である  $Mg_2SiO_4$  に対する副成分として、亜鉛酸化物及びガラス成分を含み、かつアルミニウム酸化物とチタン酸化物との何れか一方又は両方を含む組成で構成されている。副成分は、誘電体磁器組成物を焼成する際に液相を形成する焼結助剤として用いられる。特に、副成分として含まれるガラス成分は液相としての役割を果たし、未反応で残る焼結助剤と主成分である  $Mg_2SiO_4$  との反応性を促進する。これにより、誘電体磁器組成物の焼成後に誘電体磁器に未反応で残る焼結助剤を低減することができると共に、焼結助剤を完全に反応させることができるため、誘電体磁器の焼結性が確保される。この結果、得られる誘電体磁器の  $Q$  値を上昇させることができ、誘電損失を小さくすることができる。また、アルミニウム酸化物及びチタン酸化物は、各々  $Q$  値が高いため、誘電体磁器の焼結性が確保されることで、誘電体磁器の  $Q$  値を上昇させることができ、誘電損失を小さくすることができる。

30

#### 【0035】

亜鉛酸化物及びガラス成分と、アルミニウム酸化物とチタン酸化物との何れか一方又は両方を焼成時に液相を形成する焼結助剤として添加し、副成分として誘電体磁器組成物に含有させることによって、誘電体磁器組成物の焼結温度が低下する。このため、誘電体磁器組成物を焼成し、誘電体磁器を作製する際、誘電体磁器組成物を低温 ( $Ag$  系金属の融点より低い温度) で  $Ag$  系金属と同時に焼成することが可能となり、低温焼成化を図ることができると共に、誘電体磁器組成物の焼成温度の低下に伴い生じる誘電体磁器の抗折強度の低下を抑制することができる。

40

#### 【0036】

亜鉛酸化物としては、例えば  $ZnO$  等が挙げられる。アルミニウム酸化物としては、例えば  $Al_2O_3$  等が挙げられる。チタン酸化物としては、例えば  $TiO_2$  等が挙げられる。ガラス成分は、 $Li_2O$  を含むガラスを少なくとも 1 つ以上含むものであることが好ましい。ガラス成分が  $Li_2O$  を含むことで、更に未反応な焼結助剤と  $Mg_2SiO_4$  との反応性を促進させることができるので、誘電体磁器組成物の焼結は更に安定して確保でき、得

50

られる誘電体磁器のQ値は更に上昇させることができ、誘電損失を更に小さくすることができる。また、低温（Ag系金属の融点より低い温度）で誘電体磁器組成物をAg系金属と同時焼成しつつ抗折強度を更に安定して確保することができる。

【0037】

このようなガラス成分としては、例えば、 $\text{SiO}_2 - \text{RO} - \text{Li}_2\text{O}$ （ROはアルカリ土類金属酸化物を1種類以上含む）系ガラスと $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{RO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラスとの何れか一方又は両方を含んで構成されるものが好ましい。ガラス成分として、具体的には、 $\text{SiO}_2 - \text{RO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラスとしては、 $\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラス、 $\text{SiO}_2 - \text{SrO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラス、 $\text{SiO}_2 - \text{BaO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラス、 $\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{SrO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラス、 $\text{SiO}_2 - \text{BaO} - \text{CaO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラス、 $\text{SiO}_2 - \text{SrO} - \text{BaO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラス、 $\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{SrO} - \text{BaO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラスなどが挙げられる。 $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{RO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラスとしては、 $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラス、 $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{SrO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラス、 $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{BaO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラス、 $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{CaO} - \text{SrO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラス、 $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{BaO} - \text{CaO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラス、 $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{SrO} - \text{BaO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラスなどが挙げられる。これらの中でも、 $\text{SiO}_2 - \text{BaO} - \text{CaO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラスが好ましい。

10

【0038】

よって、本実施形態の誘電体磁器は、低温で焼成して得ることを可能としつつ、焼結性を確保することができ、優れた誘電特性を有することができる。また、Ag系金属が溶融しない程度の低温で誘電体磁器組成物をAg系金属と同時焼成する際、誘電体磁器組成物の焼成温度の低下に伴い生じる誘電体磁器の抗折強度の低下を抑制することができる。このため、低温で焼成して得られる誘電体磁器の抗折強度は、従来のフォルステライト系組成物を焼成して得られる誘電体磁器よりも向上させることができる。

20

【0039】

亜鉛酸化物の含有量は、亜鉛酸化物の質量をZnOに換算した場合、主成分100質量部に対して、8.0質量部以上20質量部以下であることが好ましく、10質量部以上16質量部以下であることがより好ましく、12.0質量部以上16.0質量部以下であることが更に好ましい。亜鉛酸化物（特に、ZnO）は、誘電体磁器組成物をAg系金属と同時焼成する際に、低温（Ag系金属の融点より低い温度）で焼成するのに寄与する。このため、亜鉛酸化物の含有量を上記範囲内とすることで、低温（Ag系金属の融点より低い温度）で誘電体磁器組成物をAg系金属と安定して同時焼成させることが可能となる。

30

【0040】

亜鉛酸化物の含有量が8.0質量部未満となると、低温焼結効果（即ち、より低い温度での誘電体磁器組成物の焼結を可能とする効果）が不充分となる傾向があり、本実施形態に係る誘電体磁器の焼結密度は小さくなり、品質係数Qが低下して、誘電損失が大きくなる傾向があると共に、抗折強度を向上する効果が小さくなる傾向がある。また、亜鉛酸化物の含有量が20質量部を超えると、品質係数Qが低下して、誘電損失が大きくなる傾向がある。そこで、亜鉛酸化物の含有量を上記範囲内とすることによって、これらの傾向を抑制できる。

40

【0041】

副成分の一種であるガラス成分の含有量は、ガラス成分の質量を $\text{SiO}_2 - \text{BaO} - \text{CaO} - \text{Li}_2\text{O}$ 系ガラスに換算した場合、副成分からガラス成分を除いた誘電体組成100質量部に対して、2.0質量部以上10.0質量部以下であることが好ましく、2.0質量部以上7.0質量部以下であることがより好ましい。

【0042】

ガラス成分の含有量が2.0質量部未満となると、低温焼結効果が不充分となり、焼結が不足し、本実施形態に係る誘電体磁器の焼結密度は小さくなり、品質係数Qは低下し、誘電損失が大きくなる傾向があると共に、抗折強度を向上する効果が小さくなる傾向がある。また、ガラス成分の含有量が10.0質量部を超えると、品質係数Qは低下し、誘電

50

損失が大きくなる傾向がある。そこで、ガラス成分の含有量を上記範囲内とすることによって、これらの傾向を抑制できる。

【0043】

アルミニウム酸化物の含有量は、アルミニウム酸化物の質量を  $Al_2O_3$  に換算した場合、主成分100質量部に対して、0.1質量部以上10.0質量部以下であることが好ましく、0.5質量部以上5.0質量部以下であることがより好ましい。

【0044】

アルミニウム酸化物の含有量が0.1質量部未満となると、本実施形態に係る誘電体磁器の焼結密度、品質係数Qは低下方向にあり、誘電損失が大きくなる傾向があると共に、抗折強度を向上する効果が小さくなる方向にある。また、アルミニウム酸化物の含有量が10.0質量部を超えると、低温焼結効果が不十分となり、焼結が不足し、品質係数Qは低下し、誘電損失が大きくなる傾向がある。そこで、アルミニウム酸化物の含有量を上記範囲内とすることによって、これらの傾向を抑制できる。

10

【0045】

チタン酸化物の含有量は、チタン酸化物の質量を  $TiO_2$  に換算した場合、主成分100質量部に対して、0.1質量部以上10.0質量部以下であることが好ましく、0.5質量部以上5.0質量部以下であることがより好ましい。

【0046】

チタン酸化物の含有量が0.1質量部未満となると、本実施形態に係る誘電体磁器の焼結密度、品質係数Qは低下方向にあり、誘電損失が大きくなる傾向があると共に、抗折強度を向上する効果が小さくなる方向にある。また、チタン酸化物の含有量が10.0質量部を超えると、低温焼結効果が不十分となり、焼結が不足し、品質係数Qは低下し、誘電損失が大きくなる傾向がある。そこで、チタン酸化物の含有量を上記範囲内とすることによって、これらの傾向を抑制できる。

20

【0047】

本実施形態に係る誘電体磁器においては、副成分に含まれる成分として、亜鉛酸化物及びガラス成分と、更にアルミニウム酸化物とチタン酸化物との何れか一方又は両方以外に、例えば、ホウ素酸化物、アルカリ土類金属酸化物などを含むようにしてもよい。具体的なホウ素酸化物としては、 $B_2O_3$ 等が挙げられる。アルカリ土類金属酸化物としては、 $BaO$ 、 $SrO$ 、 $CaO$ 、 $MgO$ 等が挙げられる。

30

【0048】

ホウ素酸化物の含有量は、ホウ素酸化物の質量を  $B_2O_3$  に換算した場合、主成分100質量部に対して、3.0質量部以上10.0質量部以下であることが好ましく、4.0質量部以上8.0質量部以下であることがより好ましい。

【0049】

ホウ素酸化物の含有量が3.0質量部未満となると、低温焼結効果が不十分となる傾向があり、品質係数Qが低下して誘電損失が大きくなる傾向がある。また、ホウ素酸化物の含有量が10.0質量部を超えると、本実施形態に係る誘電体磁器の焼結密度が低くなり易く、品質係数Qが低下して誘電損失が大きくなると共に、抗折強度が向上する効果が小さくなる傾向がある。そこで、ホウ素酸化物の含有量を上記範囲内とすることによって、これらの傾向を抑制できる。

40

【0050】

アルカリ土類金属酸化物の含有量は、アルカリ土類金属酸化物の質量をRO（Rはアルカリ土類金属元素を示す）に換算した場合、主成分100質量部に対して、1.0質量部以上4.0質量部以下であることが好ましく、2.0質量部以上3.0質量部以下であることがより好ましい。アルカリ土類金属酸化物を誘電体磁器組成物に含有させることによって、誘電体磁器の低温焼結効果が顕著となる。

【0051】

アルカリ土類金属酸化物の含有量が1.0質量部未満となると、低温焼結効果が十分に得られなくなる傾向があり、本実施形態に係る誘電体磁器の焼結密度が低くなり易く、品

50

質係数Qが低下して誘電損失が大きくなると共に、抗折強度が向上する効果が小さくなる傾向がある。また、アルカリ土類金属酸化物の含有量が4.0質量部を超えると、低温焼結効果は顕著となるものの、品質係数Qが低下して、誘電損失が大きくなる傾向がある。そこで、アルカリ土類金属酸化物の含有量を上記範囲内とすることによって、これらの傾向を抑制できる。

【0052】

アルカリ土類金属であるRとしては、Ba、Sr、Caの何れかが好ましく、これらの2種以上を混合して用いてもよい。具体的なアルカリ土類金属酸化物ROとしては、MgO、CaO、SrO、BaO等が挙げられる。

【0053】

このように、本実施形態に係る誘電体磁器は、主成分として $Mg_2SiO_4$ を含み、副成分として亜鉛酸化物及びガラス成分を含み、かつアルミニウム酸化物とチタン酸化物との何れか一方又は両方を含むものである。本実施形態に係る誘電体磁器に副成分として含まれるガラス成分は、誘電体磁器組成物を焼成する際、液相としての役割を果たし、未反応で残る焼結助剤と $Mg_2SiO_4$ との反応性を促進させることができる。このため、誘電体磁器組成物を低温で焼成しても未反応な焼結助剤をなくし、焼結助剤を完全に反応させ、誘電体磁器の焼結性を確保することができる。これにより誘電体磁器のQ値を上昇させることができ、誘電損失を小さくすることができる。また、アルミニウム酸化物及びチタン酸化物は、各々Q値が高いため、誘電体磁器の焼結性が確保されることで、得られる誘電体磁器のQ値を上昇させることができ、誘電損失を小さくすることができる。また、上記組成によれば、Ag系金属が溶融しない程度の低温で誘電体磁器組成物をAg系金属と同時焼成することで得ることができる。また、Ag系金属が溶融しない程度の低温で誘電体磁器組成物をAg系金属と同時焼成する際、誘電体磁器組成物の焼成温度の低下に伴い生じる誘電体磁器の抗折強度の低下を抑制することができる。従って、本実施形態に係る誘電体磁器は、低温で焼成して得ることを可能としつつ、焼結性を確保し、誘電損失を低下させることが可能となる。

【0054】

Q値の特性低下は電子部品の損失が大きくなることを意味し、Q値が大きいほど、電子部品の損失は小さく抑えられる。副成分として含まれる亜鉛酸化物及びガラス成分と、アルミニウム酸化物及びチタン酸化物の何れか一方又は両方との含有量を上記範囲内とすることで、本実施形態に係る誘電体磁器のQ値を、所定値（例えば、1000）以上を維持しながら、誘電体磁器組成物の低温焼結化を図ることができる。これにより、本実施形態に係る誘電体磁器は、Ag系金属等の低融点の導体材を内部電極とする電子部品に用いられる低温焼成が可能な誘電体磁器を提供することができる。

【0055】

< 誘電体磁器の製造方法 >

本実施形態に係る誘電体磁器の製造方法の一例について説明する。図1は、本実施形態に係る誘電体磁器の製造方法を示すフローチャートである。図1に示すように、本実施形態に係る誘電体磁器の製造方法は、 $Mg_2SiO_4$ を含む主成分と、ZnOとガラス成分とアルミニウム酸化物とを含む副成分とを含む誘電体磁器を製造するにあたり、以下の工程を含む。

(a) 酸化マグネシウムの原料粉末と二酸化珪素の原料粉末とを混合して熱処理し、 $Mg_2SiO_4$ 結晶粉末を作製する $Mg_2SiO_4$ 結晶粉末の作製工程（ステップS11）

(b)  $Mg_2SiO_4$ 結晶粉末に、副成分原料粉末として亜鉛酸化物とガラス成分とアルミニウム酸化物とを添加し、誘電体磁器組成物を得る誘電体磁器組成物の作製工程（ステップS12）

(c) 誘電体磁器組成物を酸素雰囲気下において800以上1000以下の温度で焼成して、焼結体を得る焼成工程（ステップS13）

【0056】

尚、焼結助剤としては、亜鉛酸化物及びガラス成分の他に、アルミニウム酸化物を含む

焼結助剤を用いる場合について説明するが、本実施形態はこれに限定されるものではなく、焼結助剤としては、アルミニウム酸化物に代えてチタン酸化物を含めてもよいし、アルミニウム酸化物とチタン酸化物との両方を含めてもよい。

【0057】

<  $Mg_2SiO_4$  結晶粉末の作製工程：ステップ S 1 1 >

$Mg_2SiO_4$  結晶粉末の作製工程（ステップ S 1 1）は、酸化マグネシウム（ $MgO$ ）の原料粉末と酸化珪素（ $SiO_2$ ）の原料粉末とを混合し、フォルステライト（ $Mg_2SiO_4$ ）結晶粉末を作製する工程である。 $Mg_2SiO_4$  結晶粉末の原料となる  $MgO$  の原料粉末と  $SiO_2$  の原料粉末とをそれぞれ所定量秤量した後、混合する。これにより原料混合粉末を得る。なお、副成分の各原料の秤量は、完成後の誘電体磁器組成物において、各副成分の含有率が、誘電体磁器組成物全体に対して所望の上記比率（質量部）となるように行う。また、 $MgO$  の原料粉末及び  $SiO_2$  の原料粉末との混合は、乾式混合又は湿式混合等の混合方式で行うことができ、例えば、ボールミルなどの混合分散機で純水、エタノール等の溶媒を用いて混合する。ボールミルの場合の混合時間は 4 時間から 24 時間程度とする。

10

【0058】

原料混合粉末を、好ましくは 100 以上 200 以下、より好ましくは 120 以上 140 以下で 12 時間から 36 時間程度乾燥させた後、熱処理（仮焼き）する。この仮焼きによって、 $Mg_2SiO_4$  結晶が得られる。仮焼温度は、1100 以上 1500 以下であることが好ましく、1100 以上 1350 以下であることが好ましい。また、仮焼時間は 1 時間から 24 時間程度行うことが好ましい。

20

【0059】

合成された  $Mg_2SiO_4$  結晶を、粉砕して粉末とした後、乾燥する。これにより、 $Mg_2SiO_4$  結晶粉末が得られる。この  $Mg_2SiO_4$  結晶粉末が誘電体磁器の主成分粉末として用いられる。粉砕は乾式粉砕又は湿式粉砕等の粉砕方式で行なうことができ、例えば、ボールミルで純水、エタノール等の溶媒を用いて湿式粉砕する。粉砕時間は、特に限定されるものではなく、所望の平均粒子径の大きさの  $Mg_2SiO_4$  結晶粉末が得られればよく、粉砕時間は例えば 4 時間から 24 時間程度とすればよい。 $Mg_2SiO_4$  結晶粉末の乾燥は、好ましくは 100 以上 200 以下、より好ましくは 120 以上 140 以下の乾燥温度で、12 時間から 36 時間程度行なう。

30

【0060】

なお、 $Mg_2SiO_4$  結晶による効果を大きくするためには、 $Mg_2SiO_4$  中に含まれる未反応の  $MgO$  や  $SiO_2$  の原料成分を少なくする必要があるため、 $MgO$  と  $SiO_2$  とを混合した原料混合粉末を調製する際、マグネシウムのモル数が珪素のモル数の 2 倍となるように、 $MgO$  と  $SiO_2$  とを混合することが好ましい。

【0061】

$Mg_2SiO_4$  結晶粉末は、 $MgO$  の原料粉末及び  $SiO_2$  の原料粉末から  $Mg_2SiO_4$  結晶を合成する方法に限定されるものではなく、市販の  $Mg_2SiO_4$  を用いてもよい。この場合、市販の  $Mg_2SiO_4$  を、上述と同様の方法で粉砕し、乾燥して  $Mg_2SiO_4$  結晶粉末を得るようにしてもよい。

40

【0062】

$Mg_2SiO_4$  結晶粉末を得た後、誘電体磁器組成物の作製工程（ステップ S 1 2）に移行する。

【0063】

< 誘電体磁器組成物の作製工程：ステップ S 1 2 >

誘電体磁器組成物の作製工程（ステップ S 1 2）は、 $Mg_2SiO_4$  結晶粉末に、亜鉛酸化物とアルミニウム酸化物とを含む副成分原料粉末とを混合して熱処理し、 $Mg_2SiO_4$  結晶粉末に副成分原料粉末として更にガラス成分を添加して誘電体磁器組成物を得る工程である。

【0064】

50

得られた  $Mg_2SiO_4$  結晶粉末と、誘電体磁器組成物の副成分の原料である亜鉛酸化物とアルミニウム酸化物とを所定量秤量した後、これらを混合して熱処理する。熱処理後に得られる粉に対し、ガラス成分を添加して粉碎処理して誘電体磁器組成物とする。本実施形態では、ガラス成分は、 $Mg_2SiO_4$  結晶粉末と亜鉛酸化物とを混合した後、熱処理して得られる粉に添加するようにしているが、本実施形態はこれに限定されるものではなく、ガラス成分は、 $Mg_2SiO_4$  結晶粉末と亜鉛酸化物とを混合し熱処理する時に混合してもよい。亜鉛酸化物としては、例えば  $ZnO$  等が挙げられる。アルミニウム酸化物としては、上記のように、例えば  $Al_2O_3$  等が挙げられる。ガラス成分としては、上記のように、 $Li_2O$  を含むガラスを少なくとも1つ以上含むものであることが好ましい。ガラス成分としては、例えば、 $SiO_2 - RO - Li_2O$  系ガラスと  $B_2O_3 - RO - Li_2O$  系ガラスとの何れか一方又は両方を含んで構成されるものが好ましい。ガラス成分が  $Li_2O$  を含むことで、更に未反応な焼結助剤と  $Mg_2SiO_4$  との反応を促進させることができるので、誘電体磁器組成物の焼結は更に安定して確保でき、得られる誘電体磁器の  $Q$  値は更に上昇させることができ、誘電損失を更に小さくすることができる。また、 $Ag$  系金属が溶融しない程度の低温で誘電体磁器組成物を  $Ag$  系金属と同時焼成することを可能としつつ誘電体磁器の抗折強度を更に安定して確保することができる。

10

## 【0065】

副成分の原料として、後述する仮焼き等の熱処理で焼成することによって亜鉛酸化物やアルミニウム酸化物や  $Li_2O$  を含むガラス成分となる化合物を用いることもできる。誘電体磁器組成物の副成分の原料としては、亜鉛酸化物、アルミニウム酸化物、 $Li_2O$  を含むガラス成分以外に、例えば、チタン酸化物、ホウ素酸化物、アルカリ土類金属酸化物、又は焼成（後述する仮焼き等の熱処理）することによってこれらの酸化物となる化合物を用いることができる。チタン酸化物としては、 $TiO_2$  等が挙げられる。ホウ素酸化物としては、 $B_2O_3$  等が挙げられる。アルカリ土類金属酸化物としては、 $BaO$ 、 $SrO$ 、 $CaO$ 、 $MgO$  等が挙げられる。焼成により上記酸化物となる化合物としては、例えば、炭酸塩、硝酸塩、シュウ酸塩、水酸化物、硫化物、有機金属化合物等が例示される。

20

## 【0066】

亜鉛酸化物、アルミニウム酸化物及びガラス成分の各原料の秤量は、完成後の誘電体磁器において、亜鉛酸化物、アルミニウム酸化物及びガラス成分の含有量が、主成分に対して所望の上記質量比率（質量部）となるように行う。即ち、亜鉛酸化物の含有量は、亜鉛酸化物の質量を  $ZnO$  に換算した場合、主成分100質量部に対して、8.0質量部以上20質量部以下であることが好ましく、12.0質量部以上16.0質量部以下であることがより好ましい。ガラス成分の含有量は、ガラス成分の質量を  $SiO_2 - BaO - CaO - Li_2O$  系ガラスに換算した場合、副成分からガラス成分を除いた誘電体組成100質量部に対して、2.0質量部以上10.0質量部以下であることが好ましく、2.0質量部以上7.0質量部以下であることがより好ましい。アルミニウム酸化物の含有量は、アルミニウム酸化物の質量を  $Al_2O_3$  に換算した場合、主成分100質量部に対して、0.1質量部以上10質量部以下であることが好ましく、0.5質量部以上5.0質量部以下であることがより好ましい。

30

## 【0067】

副成分に含まれる成分として、亜鉛酸化物とガラス成分とアルミニウム酸化物と以外に、例えば、チタン酸化物、ホウ素酸化物、アルカリ土類金属酸化物などを含む場合、チタン酸化物、ホウ素酸化物、アルカリ土類金属酸化物などの含有量についても、上記の通り、主成分に対して各々所望の上記質量比率（質量部）となるように行う。

40

## 【0068】

混合は、乾式混合又は湿式混合等の混合方式で行うことができ、例えば、ボールミルなどの混合分散機で純水、エタノール等の溶媒を用いた混合方式により行うことができる。混合時間は、4時間から24時間程度とすればよい。

## 【0069】

原料混合粉末を、好ましくは100 以上200 以下、より好ましくは120 以上

50

140 以下の乾燥温度で、12時間から36時間程度乾燥する。

【0070】

乾燥させた原料混合粉末は、後述する焼成工程における焼成温度（800 以上1000 以下）より低い温度、例えば800 以上950 以下で、1時間から10時間程度、熱処理（仮焼き）する。このように仮焼きを焼成温度以下の温度で行うことによって、原料混合粉末中のフォルステライトが融解することを抑制でき、誘電体磁器組成物中に、結晶の形で $Mg_2SiO_4$ を含有させることができる。

【0071】

仮焼後の原料混合粉末に対してLi系ガラスを添加、混合粉碎した後、乾燥する。これにより、誘電体磁器組成物が得られる。粉碎は乾式粉碎又は湿式粉碎等の粉碎方式で行なうことができる。粉碎時間は4時間から24時間程度とすればよい。粉碎後の原料混合粉末の乾燥は、好ましくは100 以上200 以下、より好ましくは120 以上140 以下の処理温度で12時間から36時間程度行えばよい。

【0072】

上述した誘電体粉末である原料混合粉末の作成方法により、誘電体磁器組成物の主成分と副成分とが均一に混合されて、材質が均一な誘電体磁器組成物を得ることができる。

【0073】

誘電体磁器組成物を得た後、誘電体磁器組成物を焼成する焼成工程（ステップS13）に移行する。

【0074】

< 焼成工程：ステップS13 >

焼成工程（ステップS13）では、得られた誘電体磁器組成物を焼成して、焼結体を得る。これにより、本実施形態に係る誘電体磁器が得られる。焼成は、例えば、空気中のような酸素雰囲気にて行うことが好ましい。また、焼成温度は、導体材として用いるAg系金属の融点以下であることが好ましく、例えば、800 以上1000 以下であることが好ましく、800 以上950 以下であることがより好ましく、860 以上950 以下であることが更に好ましく、880 以上940 以下であることが最も好ましい。

【0075】

このように、本実施形態に係る誘電体磁器の製造方法を用いて得られた誘電体磁器は、焼成工程（ステップS13）において800 以上1000 以下の低温で焼成しても $Mg_2SiO_4$ と未反応のまま存在する焼結助剤との反応を促進することができるため、低温（Ag系金属の融点より低い温度）焼成を維持しつつ、焼結性を確保できるため、誘電体磁器には、未反応のまま残存する焼結助剤の含有量を軽減している。よって、本実施形態に係る誘電体磁器は、焼成工程（ステップS13）において低温（Ag系金属の融点より低い温度）で焼成して得ることができ、誘電体磁器の焼結性を確保することができ、優れた誘電損失を有する誘電体磁器となる。したがって、本実施形態に係る誘電体磁器は、フィルター、共振器、コンデンサ、回路基板等の電子部品の一部を構成する誘電体磁器として好適に用いることができる。

【0076】

以上、本発明に係る誘電体磁器の好適な実施形態について説明したが、本発明は必ずしも上述した実施形態に限定されるものではない。例えば、本発明に係る誘電体磁器は、低温の焼成して得ることを可能としつつ、焼結性を確保し、低い焼成温度でも誘電損失を低下させる効果を阻害しない範囲内で、他の化合物が含まれていてもよい。

【0077】

< 電子部品 >

本実施形態の誘電体磁器は、例えば、フィルター、コンデンサ、共振器、回路基板等の電子部品の一部を構成する誘電体層として好適に用いることができる。図2は、本実施形態の電子部品をLCフィルターとした場合の一実施形態を模式的に示す概念断面図である。図24は、コイル12とキャパシタパターン部13-1とを導通させるAg導体が充填

10

20

30

40

50

されたピアホール部分であり、LC共振回路が形成されている。キャパシタパターン部13-1はピア14によってコイル12と接続されている。LCフィルタ10のコンデンサ部は3層構造としているが、LCフィルタ10は3層構造に限定されず、任意の多層構造とすることができる。LCフィルタ10では、誘電体層11に本実施形態に係る誘電体磁器を用いていることから誘電体層11は誘電損失の低下を抑制するため、LCフィルタ10は、誘電体層11の強度を維持できると共に、高いQ値を有し、誘電損失が小さくなるので、高周波帯域での使用に適した特性が得られる。よって、本実施形態の電子部品は、LCフィルタとして好適に用いることができる。

【0078】

このようにして製造されたLCフィルタ10は、はんだ付け等によってプリント基板上に実装され、各種電子機器に用いられる。

【0079】

本実施形態に係る電子部品は、図2に示すLCフィルタ10のように誘電体層11とキャパシタパターン部13-1から13-3とが交互に積層される電子部品に限定されるものではなく、誘電体層を含む電子部品であれば好適に用いることができる。また、本実施形態に係る誘電体磁器は、外部に更に素子が個別に実装される電子部品であっても好適に用いることができる。本実施形態の他の電子部品としては、例えば、コンデンサ、共振器、回路基板、ロー・パス・フィルタ(Low-pass filter:LPF)、バンド・パス・フィルタ(Band-pass filter: BPF)、ダイプレクサ(DPX)、カプラ(方向性結合器)、バルン(又はバラン;平衡不平衡インピーダンス変換器)等としても好適に用いることができる。

【0080】

<電子部品の製造方法>

本実施形態に係る電子部品の製造方法の一例について説明する。図3は、本実施形態に係る電子部品の製造方法の一例を示すフローチャートである。図3に示すように、本実施形態に係る電子部品の製造方法は、図1に示す誘電体磁器の製造方法により製造される誘電体磁器組成物を成型して複数積層し、焼成することにより製造されるものである。本実施形態に係る電子部品を製造するにあたり、以下の工程を含む。

(a) 酸化マグネシウムと二酸化珪素とを混合して熱処理し、 $Mg_2SiO_4$ 結晶粉末を作製する $Mg_2SiO_4$ 結晶粉末の作製工程(ステップS21)

(b)  $Mg_2SiO_4$ 結晶粉末に、副成分原料粉末として亜鉛酸化物とガラス成分とアルミニウム酸化物とを添加し、誘電体磁器組成物を得る誘電体磁器組成物の作製工程(ステップS22)

(c) 誘電体磁器組成物の粉末を含むペーストを基板上に塗布し、成型体を作製する成型体作製工程(ステップS23)

(d) 成型体を形成して得られるグリーンシートを複数積層し、積層体を得る積層体作製工程(ステップS24)

(e) 積層体を酸素雰囲気下において800以上1000以下の温度で焼成して、焼結体を得る焼成工程(ステップS25)

【0081】

尚、焼結助剤として、亜鉛酸化物及びガラス成分の他に、アルミニウム酸化物を含む焼結助剤を用いる場合について説明するが、本実施形態はこれに限定されるものではなく、焼結助剤には、上述のように、アルミニウム酸化物に代えてチタン酸化物を含めてもよいし、アルミニウム酸化物とチタン酸化物との両方を含めてもよい。

【0082】

< $Mg_2SiO_4$ 結晶粉末の作製工程(ステップS21)及び誘電体磁器組成物の作製工程(ステップS22)>

$Mg_2SiO_4$ 結晶粉末の作製工程(ステップS21)及び誘電体磁器組成物の作製工程(ステップS22)は、上述の誘電体磁器を製造する際の図1に示す $Mg_2SiO_4$ 結晶粉末の作製工程(ステップS11)及び誘電体磁器組成物の作製工程(ステップS12)と

同様であるため、説明は省略する。誘電体磁器組成物を得た後、成型体を作製する成型体作製工程（ステップ S 2 3）に移行する。

【 0 0 8 3 】

< 成型体作製工程：ステップ S 2 3 >

成型体作製工程（ステップ S 2 3）は、誘電体磁器組成物の粉末を含むペーストを基板上に塗布し、成型体を作製する工程である。得られた誘電体磁器組成物の粉末を、ポリビニルアルコール系、アクリル系、又はエチルセルロース系等の有機バインダー等に添加した後、得られた混合物をシート状に成型してグリーンシートを得る。グリーンシートの成型方法としては、シート法や印刷法等の湿式成型法がある。成型体を作製した後、積層体を作製する積層体作製工程（ステップ S 2 4）に移行する。

10

【 0 0 8 4 】

< 積層体作製工程：ステップ S 2 4 >

積層体作製工程（ステップ S 2 4）は、成型体を形成して得られるグリーンシートを複数積層し、積層体を得る工程である。積層体作製工程（ステップ S 2 4）では、成型して得たグリーンシート上に、所定形状の内部電極が形成されるように Ag を含有する導電性ペーストを塗布する。導電性ペーストが塗布されたグリーンシートを必要に応じて複数作製し、積層してプレスし、積層体を得る。得られた積層体を所望のサイズに切断し、面取りを行った後、チップを焼成する焼成工程（ステップ S 2 5）に移行する。

【 0 0 8 5 】

< 焼成工程：ステップ S 2 5 >

焼成工程（ステップ S 2 5）は、上述の誘電体磁器を製造する際の図 1 に示す焼成工程（ステップ S 1 3）と同様であるため、説明は省略する。焼結体の冷却後、必要に応じて、得られた誘電体磁器に外部電極等を形成することで、誘電体磁器に外部電極等が形成された電子部品が完成する。

20

【 実施例 】

【 0 0 8 6 】

以下、本発明を実施例及び比較例を挙げてさらに具体的に説明するが、本発明は以下の実施例に限定されるものではない。

【 0 0 8 7 】

< 誘電体磁器の作製 >

30

[ 実施例 1 ]

主成分として  $Mg_2SiO_4$  を含み、副成分として、亜鉛酸化物及びガラス成分を含み、主成分 100 質量部に対して、 $ZnO$  の含有率が 16 質量部であり、 $B_2O_3$  の含有率が 6.0 質量部であり、 $CaCO_3$  の含有率が 2.0 質量部であり、 $Al_2O_3$  の含有率が 0.5 質量部であり、副成分からガラス成分を除いた誘電体組成 100 質量部に対して、 $SiO_2$ 、 $BaO$ 、 $CaO$ 、 $Li_2O$  系ガラスの含有率が 5.0 質量部である誘電体磁器を、以下に示す手順で作製した。

【 0 0 8 8 】

まず、主成分の原料である  $MgO$  及び  $SiO_2$  を、マグネシウム原子のモル数がケイ素原子のモル数の 2 倍となるようにそれぞれ秤量した。秤量した原料に純水を加え、スラリー濃度が 25 質量部であるスラリーを調製した。このスラリーを、ボールミルにて 16 時間湿式混合した後、120 程度で 24 時間乾燥して、原料混合粉末を得た。この原料混合粉末を、空气中で、3 時間、1200 程度で仮焼して、 $Mg_2SiO_4$  結晶を得た。この  $Mg_2SiO_4$  結晶に純水を加えて、スラリー濃度が 25% であるスラリーを調製した。このスラリーを、ボールミルにて 16 時間粉碎した後、120 程度で 24 時間乾燥して、誘電体磁器組成物の主成分である  $Mg_2SiO_4$  結晶粉末を作製した。

40

【 0 0 8 9 】

次に、得られた  $Mg_2SiO_4$  結晶粉末に対して、誘電体磁器組成物の副成分の原料である  $ZnO$ 、 $B_2O_3$ 、 $CaCO_3$ 、 $Al_2O_3$ 、ガラス成分を各々配合して調整し、誘電体磁器組成物の粉末を得た。誘電体磁器組成物の各成分の配合量は、 $Mg_2SiO_4$  結晶粉末 1

50

00質量部に対して、 $ZnO$ が16.0質量部、 $B_2O_3$ が6.0質量部、 $CaCO_3$ が2.0質量部、 $Al_2O_3$ が0.5質量部、副成分からガラス成分を除いた誘電体組成物100質量部に対して、 $SiO_2 - BaO - CaO - Li_2O$ 系ガラスの含有率が5.0質量部となるように調整した。

【0090】

誘電体磁器組成物の粉末に有機バインダーなどを添加した後、これをドクターブレード法によってシート成型してシート成型体を複数作製した。複数のシート成型体を積層後プレスして基板状に成型し、シート積層成型体を作製した。このシート積層成型体を所望のサイズに切断後、チップの面取りを行い、これをAgが溶融しない焼成温度(900)で2.5時間焼成して、誘電体磁器を作製した。作製した誘電体磁器の主成分として含まれる $Mg_2SiO_4$ と、副成分として含まれる $ZnO$ と $B_2O_3$ と $CaCO_3$ と $Al_2O_3$ と $SiO_2 - BaO - CaO - Li_2O$ 系ガラスとの各々の配合量を表1に示す。

10

【0091】

[実施例2から4]

誘電体磁器組成物全体に対する $Al_2O_3$ の含有率(質量部)を表1に示す値としたこと以外は、実施例1と同様の方法で、誘電体磁器組成物をそれぞれ作製した。そして、得られた誘電体磁器組成物をシート成型して得られるシート成型体を、複数積層後プレスして基板状に成型したシート積層成型体を作製した。このシート積層成型体を実施例1と同様の方法で、各誘電体磁器を得た。作製した誘電体磁器の主成分として含まれる $Mg_2SiO_4$ と、副成分として含まれる $ZnO$ と $B_2O_3$ と $CaCO_3$ と $Al_2O_3$ と $SiO_2 - BaO - CaO - Li_2O$ 系ガラスとの各々の配合量を表1に示す。

20

【0092】

[実施例5から8]

焼結助剤として $Al_2O_3$ に代え $TiO_2$ を用い、副成分として $Al_2O_3$ に代えて $TiO_2$ を含ませるようにし、誘電体磁器組成物全体に対する $TiO_2$ の含有率(質量部)を表1に示す値としたこと以外は、実施例1と同様の方法で、誘電体磁器組成物をそれぞれ作製した。そして、得られた誘電体磁器組成物をシート成型して得られるシート成型体を、複数積層後プレスして基板状に成型したシート積層成型体を作製した。このシート積層成型体を実施例1と同様の方法で、各誘電体磁器を得た。作製した誘電体磁器の主成分として含まれる $Mg_2SiO_4$ と、副成分として含まれる $ZnO$ と $B_2O_3$ と $CaCO_3$ と $TiO_2$ と $SiO_2 - BaO - CaO - Li_2O$ 系ガラスとの各々の配合量を表1に示す。

30

【0093】

[比較例1から4]

焼結助剤として $SiO_2 - BaO - CaO - Li_2O$ 系ガラスに代えて $Li_2O$ を用い、副成分として $SiO_2 - BaO - CaO - Li_2O$ 系ガラスに代えて $Li_2O$ を含ませるようにし、誘電体磁器組成物全体に対する $Li_2O$ の含有率(質量部)を表1に示す値としたこと以外は、実施例1と同様の方法で、誘電体磁器組成物をそれぞれ作製した。そして、得られた誘電体磁器組成物をシート成型して得られるシート成型体を、複数積層後プレスして基板状に成型したシート積層成型体を作製した。このシート積層成型体を実施例1と同様の方法で、各誘電体磁器を得た。作製した誘電体磁器の主成分として含まれる $Mg_2SiO_4$ と、副成分として含まれる $ZnO$ と $B_2O_3$ と $CaCO_3$ と $Al_2O_3$ と $Li_2O$ との各々の配合量を表1に示す。

40

【0094】

[比較例5から8]

焼結助剤として $Al_2O_3$ 及び $SiO_2 - BaO - CaO - Li_2O$ 系ガラスに代えて $TiO_2$ 及び $Li_2O$ を用い、副成分として $Al_2O_3$ 及び $SiO_2 - BaO - CaO - Li_2O$ 系ガラスに代えて $TiO_2$ 及び $Li_2O$ を含ませるようにし、誘電体磁器組成物全体に対する $TiO_2$ 及び $Li_2O$ の含有率(質量部)を表1に示す値としたこと以外は、実施例1と同様の方法で、誘電体磁器組成物をそれぞれ作製した。そして、得られた誘電体磁器組成物をシート成型して得られるシート成型体を、複数積層後プレスして基板状に成型し

50

たシート積層成型体を作製した。このシート積層成型体を実施例1と同様の方法で、各誘電体磁器を得た。作製した誘電体磁器の主成分として含まれる $Mg_2SiO_4$ と、副成分として含まれる $ZnO$ と $B_2O_3$ と $CaCO_3$ と $TiO_2$ と $Li_2O$ との各々の配合量を表1に示す。

【0095】

<評価>

得られた誘電体磁器の焼結密度  $s$ 、 $Q$  値を各々求めた。

【0096】

[焼結密度  $s$ ]

焼成後の試験片がLWT方向で $4.5 \times 3.2 \times 0.8$  mm前後になるように切断加工し、各方向の寸法をマイクロメーターで測定し、電子天秤で質量を測定し、そこからの嵩密度を焼結密度  $s$  (単位:  $g/cm^3$ ) とした。測定結果を表1に示す。

【0097】

[ $Q$  値]

空洞共振器摂動法により $Q$  値を測定した。空洞共振器内に大きさが $0.8$  mm四方の試験片を挿入し、空洞共振器内の $Q$  値の変化を測定した。測定周波数は $1.9$  GHzで行い、 $Q$  値は、3回行なって得られた $Q$  値の平均値とした。測定結果を表1に示す。

【0098】

【表1】

(表1)

	主成分	副成分							Q値 (@1.9GHz)	$\rho_s$ ( $g/cm^3$ )
	$Mg_2SiO_4$	ZnO	$B_2O_3$	$CaCO_3$	$Al_2O_3$	$TiO_2$	$SiO_2$ -BaO- CaO- $Li_2O$ 系ガラス	$Li_2O$		
実施例1	100	16	6	2	0.5	-	5	-	1950	3.34
実施例2	100	16	6	2	1	-	5	-	1960	3.33
実施例3	100	16	6	2	2	-	5	-	2400	3.34
実施例4	100	16	6	2	5	-	5	-	2100	3.32
実施例5	100	16	6	2	-	0.5	5	-	1700	3.35
実施例6	100	16	6	2	-	1	5	-	1980	3.36
実施例7	100	16	6	2	-	2	5	-	2300	3.33
実施例8	100	16	6	2	-	5	5	-	2040	3.28
比較例1	100	16	6	2	0.5	-	-	0.38	800	3.33
比較例2	100	16	6	2	1	-	-	0.82	750	3.32
比較例3	100	16	6	2	2	-	-	1.2	650	3.33
比較例4	100	16	6	2	5	-	-	5	500	3.32
比較例5	100	16	6	2	-	0.5	-	0.38	765	3.31
比較例6	100	16	6	2	-	1	-	0.82	721	3.33
比較例7	100	16	6	2	-	2	-	1.2	644	3.31
比較例8	100	16	6	2	-	5	-	5	511	3.34

【0099】

表1に示すように、実施例1から7では、焼結密度  $s$  の値は $3.34 g/cm^3$ から $\pm 0.02 g/cm^3$ の範囲内にあり、実施例8では、焼結密度  $s$  の値は $3.28 g/cm^3$ と低かったことが確認された。また、実施例1から8の各誘電体磁器は、 $Q$  値が1000以上であったことが確認された。

【0100】

これに対し、比較例1から8では、焼結密度  $s$  の値が $3.31 g/cm^3$ から $3.34 g/cm^3$ の範囲内であったことが確認された。また、比較例1から8の各誘電体磁器は、何れも $Q$  値が800以下であったことが確認された。

【 0 1 0 1 】

よって、誘電体磁器を作成する際、主成分として  $Mg_2SiO_4$  を含み、副成分として亜鉛酸化物及びガラス成分と、アルミニウム酸化物又はチタン酸化物とを含むことで、得られる誘電体磁器は、Q 値を上昇させることができるため、誘電損失を小さくすることができることが判明した。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 1 0 2 】

以上のように、本発明に係る誘電体磁器、誘電体磁器の製造方法及び電子部品は、低温焼成化を可能としつつ、誘電特性を向上させることができるため、L T C C として用いられ、高周波用回路基板などに好適に用いることができる。

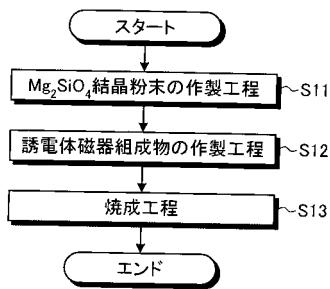
10

【 符号の説明 】

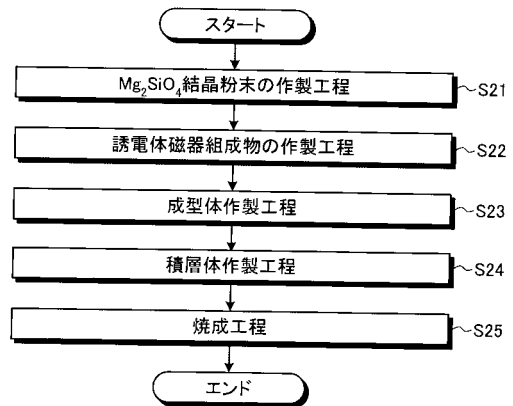
【 0 1 0 3 】

- 1 0 LC フィルター
- 1 1 誘電体層
- 1 2 コイル
- 1 3 - 1 ~ 1 3 - 3 キャパシタパターン部
- 1 4 ピア (ピア導体)

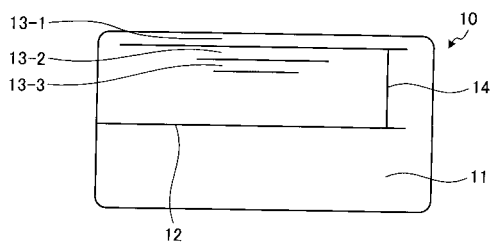
【 図 1 】



【 図 3 】



【 図 2 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 中野 貴弘

東京都中央区日本橋一丁目13番1号 TDK株式会社内

(72)発明者 中村 知子

東京都中央区日本橋一丁目13番1号 TDK株式会社内

(72)発明者 宮内 泰治

東京都中央区日本橋一丁目13番1号 TDK株式会社内

Fターム(参考) 4G030 AA02 AA05 AA07 AA08 AA09 AA10 AA16 AA32 AA35 AA36  
AA37 BA09 CA08 GA01 GA09 GA25 GA27 HA09  
5E001 AB03 AE04  
5E082 AA01 DD08 FF05 FG26  
5G303 AA02 AB07 AB08 BA12 CA01 CA03 CB01 CB16 CB17 CB30  
CB35 CB38