

# コンソーシアム拠点形成をめざす次世代インダクタ材料設計の研究

Study for the next generation inductor materials to aim at formation of their consortium base

プロジェクト代表者: 平塚信之(理工学研究科・教授)

Prof. Nobuyuki HIRATSUKA (Graduate School of Science and Engineering)

## 1. 研究の経過

携帯電話やPCに使用されるGHz帯でも磁気特性が劣化しない酸化物磁性材料(フェライト)の研究を主体とする埼玉大学平塚研究室で次の3つのテーマについて進めた。

- ①M型バリウムフェライトの高周波磁気材料の探索および特性評価
- ②フェロックスプラナ型フェライトの作製および高周波特性の改善
- ③新規な構成の薄膜インダクタの設計および特性評価

さらに外部機関のTDK、FDK、日立金属、東光は、各社のテーマを埼玉大学が技術相談を受けながら進めた。本学では試料の作製を神島と柿崎が担当し、構造解析を小林と柳瀬、電磁気特性の測定・評価・解析を柿崎、高橋と酒井が実行し、全体の統括を平塚が行った。

また、企業として、TDK、FDK、日立金属、村田製作所、東光、太陽誘電、京セラの各社ともそれぞれの研究・開発を進めながら研究打ち合わせ、情報交換を積極的に行ってきた。

その具体化としてコンソーシアム拠点形成をめざす「埼玉大学次世代インダクタ研究会」を平成18年4月6日(木)に埼玉大学で開催し、企業(6社、16名)と本学教員と学生が計32名参加した。研究会では企業から7件、本学3件の研究成果発表があり、討論も活発に行われた。さらに今後も協同して拠点形成を維持発展させることも確認した。

## 2. 埼玉大学における次世代インダクタ材料設計の研究成果

### 2-1 TiZn置換によるCo<sub>2</sub>Z型フェライトの初透磁率の改善の研究

Fe<sup>3+</sup>イオンをTi<sup>4+</sup>イオンおよびZn<sup>2+</sup>イオンで置換したBa<sub>3</sub>Co<sub>2</sub>Ti<sub>x</sub>Zn<sub>x</sub>Fe<sub>24-2x</sub>O<sub>41</sub>(0<x<4)を通常のセラミック法で作製した。置換量がx=0および1の試料はZ型が主相であったが、x=2および4の試料ではM型相、Y型相およびスピネル相の異相が生成した。x=0および1の試料を異なる焼成温度(1250, 1275, 1300°C)で作製したところ、焼成温度が高くなるにしたがい、初透磁率は増大した。これはバルク密度および結晶粒子径が増大したことによる。1250°Cで焼成したx=0.0から1.0までの組成の試料では、飽和磁化値(emu/g)は置換量にかかわらず一定であったが、x=0.85の試料で保磁力は最小となり密度は最大となった。その組成において、初透磁率は最大値24となった。これら

の変化は、Ti イオンおよび Zn イオンの部分置換によりフェライト化反応および密度の増加が促進されたことと関係があると考えられる。

## 2-2 軟磁性フェロックスプラナ型フェライトの高周波磁気特性の研究

Y 型フェライト、 $\text{Co}^{2+}\text{Ti}^{4+}$ 置換 M 型フェライトおよびそれらを足し合わせた組成の試料を通常のセラミック法で作製した。本来硬磁性である M 型フェライトおよび面内に磁気異方性を持たない  $\text{Zn}_2\text{Z}$  において、 $\text{Fe}^{3+}$ を  $\text{Co}^{2+}$ および  $\text{Ti}^{4+}$ により置換することにより、12 および 23 と大きな初透磁率が得られた。Z 型組成において大きな初透磁率が得られた原因は、 $\text{Co}^{2+}\text{Ti}^{4+}$ 置換 M 型フェライトを含む六方晶では、磁気異方性が減少するためである。作製した Y 型および Z 型試料の透磁率は磁壁移動と比較して、回転磁化の寄与が大きいと考えられる。したがって、透磁率の変化には組成のコントロールが有効と考えられる。

## 2-3 金属元素置換M型バリウムフェライトの高周波磁気特性の研究

$\text{Fe}^{3+}$ イオンを  $\text{Co}^{2+}$ イオンおよび  $\text{Ti}^{4+}$ イオンで置換してバリウムフェライト  $\text{BaCo}_x\text{Ti}_x\text{Fe}_{12-2x}\text{O}_{19}$ (置換量  $x=1\sim 3$ )の組成になるように通常のセラミック法で作製した。その結晶構造および磁気特性を調べたところ、異方性が減少し、保磁力が低下した。その結果、 $x=1.15$  において初透磁率は最大で 27.4 と高い値を示した。また、Co-Ti 置換 Ba フェライトをさらに Ti-Zn イオンで置換して  $\text{BaCo}_{1.1}\text{Zn}_y\text{Ti}_{1.1+y}\text{Fe}_{9.8-2y}\text{O}_{19}$ ( $y=0\sim 1.0$ )の組成になるように試料を作製し、磁気特性を測定した。その結果、置換量が  $y=0.4$  の試料は 10MHz における初透磁率が約 40 と非常に高い値を示した。これは結晶粒径が増大したことにより保磁力が減少したためと考えられる。

## 3. 埼玉大学次世代インダクタ研究会の開催と成果

2006 年 4 月 6 日に埼玉大学次世代インダクタ研究会を開催した。プログラムを以下に示す。

13:00-13:05 開会挨拶 平塚信之

座長 村瀬 琢(TDK 基礎材料開発センター)

13:05-13:25 金属置換 M 型 Ba フェライトの高周波磁気特性

○神島謙二、宮田謙一、柿崎浩一、平塚信之(埼玉大学)

13:25-13:45 Li 置換  $\text{Co}_2\text{Z}$  型フェライトの磁気特性

○中根純一、神島謙二、柿崎浩一、平塚信之(埼玉大学)

13:45-14:05 .MnZnフェライトの微細構造と強度

○松尾 良夫(FDK 基盤技術開発部)

14:05-14:25 MnZn系高温高Bsフェライト

○野口 伸(日立金属 先端エレクトロニクス研)

14:25-14:40 休憩

座長 松尾 良夫(FDK 基盤技術開発部)

14:40-15:00 高周波用NiCuZnフェライトの磁気特性

○児玉高志、中村彰宏(村田製作所 材料開発センター)

15:00-15:20 放射光を用いたフェライトの格子歪みに関する検討

○河野健二(太陽誘電 材料開発部)

15:20-15:40  $\mu$  H チップインダクタ用高信頼性低温焼結フェライト材料

○山本 誠、松本雅史(東光 コイル応用事業センター)

座長 児玉 高志(村田製作所 材料開発センター)

15:40-16:00 低誘電率フェライトを用いた積層コモンモードチョークコイルの開発

○後藤裕二(FDK 基盤技術開発部)

16:00-16:20 SrZn<sub>2</sub>W 型フェライトに対する Ni 置換効果

○増田 健、皆地良彦、村瀬 琢(TDK 基礎材料開発センター)

16:20-16:40 パーマロイ/強磁性絶縁層積層薄膜の作製および磁気特性

○柿崎浩一、樋掛康行、神島謙二、平塚信之(埼玉大学)

閉会挨拶 柿崎浩一

この研究会はテーマが明確であるので密度の濃い討論ができて大変有意義であるとの全員の意

見があり、第2回も継続して開催して欲しいとの要望が強く出された。

17:00-18:30 懇親会 きやら亭

立食形式でさらなる討論を行ない、参加者が交流を深めた。

## 4. 研究の成果

### 4-1 学術論文 (3編)

#### ①TiZn 置換による Co<sub>2</sub>Z 型フェライトの初透磁率の改善

(神島謙二、伊藤千昌、柿崎浩一、平塚信之)

粉体および粉末冶金, Vol.53, No.3, pp.263-267, 2006.3

②軟磁性フェロックスプラナ型フェライトの高周波磁気特性

(松浦 準、河野健二、神島謙二、柿崎浩一、平塚信之)

粉体および粉末冶金, Vol.53, No.3, pp.268-272, 2006.3

③金属元素置換 M 型バリウムフェライトの高周波磁気特性

(宮田謙一、神島謙二、柿崎浩一、平塚信之)

日本応用磁気学会論文誌, Vol. 30, No. 3, pp.383-386, 2006.3

4-2 学術講演 (5 編)

①新規フェロックスプラナ型フェライトの探索および高周波磁気特性

(平塚信之、松浦 準、神島謙二、柿崎浩一)

粉体粉末冶金協会平成17年度春季大会講演概要集, p.190.東京

②金属元素置換M型バリウムフェライトの高周波磁気特性

(宮田謙一、神島謙二、柿崎浩一、平塚信之)

第29回日本応用磁気学会学術講演概要集、p.178, 2005.9. 長野

③パーマロイ/強磁性絶縁層積層薄膜の高周波磁気特性

(樋掛康行、神島謙二、柿崎浩一、平塚信之)

第29回日本応用磁気学会学術講演概要集、p.299, 2005.9. 長野

④Li 置換 Z 型フェライトの磁気特性

(中根純一、神島謙二、柿崎浩一、平塚信之)

日本電子材料技術協会第42回秋期講演大会講演概要集、p.25、2005.11、東京

⑤Li 置換 Co<sub>2</sub>Z 型フェライトの高周波磁気特性

(中根純一、神島謙二、柿崎浩一、平塚信之)

粉体粉末冶金協会平成17年度秋季大会講演概要集, p.46,2005.11,浜松

5. 期間中に獲得した外部資金

奨学寄付金

日立金属 300 千円

TDK 1000 千円

FDK 500 千円

