微結晶 Mn-Zn フェライト 「FG フェライト™」の開発

牧野 彰 宏¹⁾ 畑内 隆 史²⁾ 山本 豊³⁾

1. はじめに

電子機器の高性能化に伴い、スイッチング電源の用途は拡大の一途をたどっている。中でも小形薄型電源においては需要の増加が見込まれ日本国内で製造できる付加価値の高い製品として期待されている。通信機器用電源の分野においては、制御 IC の高周波化に伴う消費電力の増加の対策として駆動電圧の低電圧化が進められ、低電圧化によるケーブルの損失増加および電圧変動率の増加等の問題を解決するために電源の分散化が行われ、いわゆるオンボード電源が使用されてきている⁽¹⁾。このオンボード電源には薄型でかつ効率の高いトランスおよびインダクターが必要とされ研究開発が進められている⁽²⁾⁽³⁾。また、携帯機器用電源の分野においては、電源の占める体積を小さくする必要があることから薄型の電源が開発されている⁽⁴⁾。これらの電源の小型化、薄型化には駆動周波数の高周波化が有効であることから、トランスおよびインダクター等の磁気素子に用いる高周波で低損失な軟磁性材料の開発が望まれている。本稿では、結晶粒径を微細化し MHz 帯域における損失を低減した MnZn フェライトである“FG フェライト”の組織と磁気特性の関係およびその材料の応用について報告する⁽⁵⁾⁻⁽⁹⁾。

2. 開発の経緯

MnZn フェライトの高周波における磁心損失の低減は主として電気抵抗の高抵抗化および結晶粒径の微細化によってな

されてきた。しかしながら MnZn フェライトの MHz 帯の磁心損失においては高抵抗化が磁心損失の低減に有効でないことが指摘され⁽¹⁰⁾、一方、結晶粒径の微細化に関しては焼結温度を下げることで結晶粒径が約 5 μm 程度の MnZn フェライトが実現されていたがそれ以上の微結晶化は困難とされていた⁽¹¹⁾。筆者らは水熱合成フェライトを 1298 K の低温で焼結することによって MnZn フェライトの結晶粒径を 1.5 μm まで微細化でき、この結晶粒径の微細化によって磁区の寸法が細分化することによって 1~5 MHz における磁心損失が商用フェライト材料に比べて優れていることを見出した⁽⁹⁾⁽¹²⁾。また、Ta₂O₅ の微量添加が結晶粒径をさらに微細化するとともに磁心損失を低減するメカニズムを Ta がフェライトに固溶することによる酸素欠陥および金属イオン欠陥の発生・消滅で説明できることを見出した⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾。

3. FG フェライトの特徴

原料は結晶粒径が 0.13 μm の微細粒子でありかつスピネ

図1 水熱合成フェライト粉末の TEM 写真。

* アルプス電気株式会社
中央研究所(長岡): 1) 副所長 2) 部長 3) グループマネージャー
Development of a Fine Grained MnZn Ferrite “FG Ferrite™”;
Akihiro Makino, Takashi Hatanai, Yutaka Yamamoto (Alps
Electric Co. Ltd.)
1997年1月31日受理

ル構造を有する水熱合成フェライト粉末を用いた(図1)。この水熱合成フェライト粉末は一般的なセラミックの製法で作製されたフェライト原料に比較して、200~300℃低い温度で焼結ができ微結晶でかつ高密度な焼結体が得られる⁽¹⁵⁾。

図2にFGフェライトと商用フェライトの結晶粒径を比較して示す。FGフェライトの結晶粒径は1.5 μm で商用フェライトの結晶粒径9.5 μm に対して約1/6の微細化が実現できている。また、 Ta_2O_5 粉末と水熱合成フェライト粉末の混合

図2 焼結体のマイクロ組織。(a) FG フェライト, (b) 商用フェライト材料。

図3 FG フェライトおよび商用フェライト材料における透磁率(μ' , μ'')および品質係数($\tan \delta / \mu'$)の周波数依存性。

粉体を不活性雰囲気中で仮焼を行うことによりTaをフェライト結晶に固溶させ、この仮焼粉を用いることによって添加元素であるTaの均一添加を実現している。

4. FG フェライトの磁気特性

FGフェライトと商用フェライトの透磁率(μ' , μ'')および品質係数($\tan \delta / \mu'$)の周波数特性を図3に示す。FGフェライトの μ' は商用材のそれに比べて周波数が1.5 MHz以上で高い値を示す。また、 μ'' が増加しはじめる周波数(fr1)および μ'' がピークを示す周波数(fr2)はFGフェライトの方がより高周波側にシフトしている。これは、結晶粒径が微細化することによって磁壁移動に起因する損失が小さくなり、より高い周波数まで損失の増加が起きないことを示している。さらにフェライトの材料特性の評価に用いられている $\tan \delta / \mu'$ は、FGフェライトにおいては約1 MHzまではほぼ一定の低い値を示し商用フェライトの1/10以下の値を示す。このように、FGフェライトは磁界の小さいいわゆる初透磁率範囲において商用フェライトに比べて損失が小さい材料である。次に磁界が大きい場合におけるFGフェライトの特性を示す。図4にFGフェライトの磁心損失の最大磁束密度依存性を、また図5に1サイクルあたりの磁心損失の周波数依存性を商用材料と比較して示す。FGフェライトは25 mTの比較的低い B_m から100 mTの高い B_m において商用フェライト材料に比べて低い磁心損失を示す。商用フェライトの磁心損失が周波数約300 kHzから急激に増加するのに対して、FGフェライトの磁心損失は1 MHzを超えたところから増加を始め1 MHzにおいては約1/6の低い値を有している。

図4 FG フェライトおよび商用フェライト材料における磁心損失の最大磁束密度(B_m)依存性。

図5 FG フェライトおよび商用フェライト材料における単位周期あたりの磁心損失の周波数依存性。

図6 FG フェライトおよび商用フェライト材料を用いた導体埋込型トランスの交流損失および直流損失の出力電力依存性。

5. FG フェライトの応用例

FG フェライトの高周波における磁心損失が小さいことを利用して1 MHz 駆動の薄型トランスの試作を行い小型高出力のトランスコア材料としての特性を商用材料と比較した。

図6に導体埋込み型トランス構造⁽¹⁶⁾を持つ厚さ3 mm, 長さ17 mm, 幅12 mmのトランスを正弦波1 MHzで駆動したときの交流損失(フェライトコアの磁心損失)と直流損失(コイルの銅損)の出力電力依存性を示す。入力30 Vにおける最大磁束密度(B_m)は簡易計算により50 mTである。FG フェライトをコアとして用いた場合には、交流損失が出力電力18 Wまで約0.35 Wで一定であるのに対して、商用フェライトの交流損失は出力電力11 Wまでは約0.6 Wで一定であるが出力電力が11 Wを超えるとコアの発熱に伴って交流損失が急激に増加した。このことより商用フェライト材を用いたトランスの出力電力は11 Wが限界と考えられ、FG フェライトをコアとして用いることによって、同じ大きさのトランスで約2倍の出力電力が得られる。したがって、FG フェライトは高周波における磁心損失が小さいことから薄型トランスの小型化に有効であり、今後の電源の小型・薄型化に適用できるものと考えられる。

6. 特 許

材料、応用および製法に関する特許は出願中を含めて8件である。

文 献

- (1) R. Watson, W. Chen, G. Hua and F. C. Lee: Proc. IEEE, APEC, (1996), 657.
- (2) N. Yamashita, N. Murakami and T. Yachi: Proc. IEEE, APEC, (1995), 297.
- (3) 南沢俊孝, 山沢清人: 信学技報, PE96-31, (1996), 9.
- (4) 東海陽一, 佐藤敏郎, 行木幹雄: 平成8年電気学会全国大会講演論文集4, (1996), 151.
- (5) 牧野彰宏, 山本 豊, 坂詰直樹: 粉体および粉末冶金, 39(1992), 129.
- (6) 牧野彰宏, 山本 豊: 粉体および粉末冶金, 40(1993), 877.
- (7) Y. Yamamoto, T. Kuriyama and A. Makino: 6th. Conf. on Ferrites, (1996), 262.
- (8) Y. Yamamoto and A. Makino: J. Magn. Magn. Mater., 133(1994), 500.
- (9) A. Makino and Y. Yamamoto: in New Horizons for Materials, ed. P. Vincenzini, Thchna, (1995), 361.
- (10) 佐藤敏郎, 榊 陽: 電気情報通信学会論文誌 CJ71-C, No. 8 (1988), 1121.
- (11) 山田盛一, 大塚 努, 庄司 潔, 大槻悦夫: マグネティックス研究会資料, MAG-91-80(1991), 49.
- (12) 山本 豊, 横山雅春, 牧野彰宏: 日本金属学会秋期大会講演概要, (1994), 180.
- (13) Y. Yamamoto, A. Makino and T. Nikaidou: Abstract of 7th. Conf. on Ferrites, (1996), 261.
- (14) 高館金四郎, 山本 豊, 牧野彰宏: マグネティックス研究会資料, MAG-97-11(1997), 59.
- (15) 山本 豊, 牧野彰宏: 第13回武井セミナー資料, (1994), 8.
- (16) 山口 崇, 笹田一郎: マグネティックス研究会資料, MAG-95-125(1995), 83.