研 究

微細な結晶粒径を持つ Mn-Zn フェライトの鉄損

牧野 彰宏, 山本 豊

アルプス電気㈱新潟事業部素材開発部, 〒940 長岡市東高見1-3-5.

Core losses of Mn-Zn Ferrites with Fine Grain Size

Akihiro Makino and Yutaka Yamamoto

Material R & D Dept. Nagaoka plant, Alps electric Co., Ltd., 1-3-5 Higashitakami, Nagaoka 940

Received March 19, 1993

Mn-Zn ferrite with fine grains of about $2.1 \mu\text{m}$ in size was synthesized by sintering of hydrothermal-precipitated ferrite powders, and its core losses were evaluated. At room temperature, based on the dependence of frequency, the core losses of the ferrite at 0.2MHz to 2MHz with 50mT and at 0.5MHz to 5MHz with 5mT are smaller than those of the commercial ferrites with grains of $7.7 \mu\text{m}$ to $10.9 \mu\text{m}$ in size. So, the core loss is 70% at 500kHz, 50mT and 50% at 1MHz, 5mT of that of the commercial ferrites, respectively. At 80°C , which is almost actual circumstance, the core loss of the ferrite is also smaller than that of the commercial ferrite at 0.5MHz to 1MHz. Therefore, the fine grain ferrite is expected to be useful as material for high-frequency transformer.

1 緒 言

電子機器の小型・薄型・軽量化の流れの中で電子機器を構成する電源部についても同様に小型、薄型化が強く望まれている。現在、電子機器の電源として主に用いられているスイッチング電源の構成部品中で、体積の大きなものはコンデンサ・トランス・チョークなどの受動部品であり、これらの受動部品の小型化を図るためには、スイッチング周波数の高周波化が有効である¹⁾。

スイッチング電源のトランスコア材として直流抵抗が高いMn-Znフェライトが広く用いられているが、スイッチング周波数がMHz帯になるとMn-Znフェライトの結晶粒界キャパシタンスのために抵抗が急激に低下

し、渦電流損失急増の原因となっていることが指摘されている²⁾。MHz帯でのMn-Znフェライトの鉄損低減のためには、結晶粒界層の抵抗を上げることだけでは限界があるため、最近では相対的な粒界面積を増すことを目的として、結晶粒径の微細化による検討が行われている³⁻⁶⁾。

著者らは、すでに水熱合成フェライト原料を用いて高密度でかつ微細な結晶粒径を持つMn-Znフェライトが作製できることを報告している⁷⁾。そこで、本研究では、水熱合成フェライト原料を用いて作製した微細な結晶粒径を持つMn-Znフェライトの鉄損の周波数特性について調べ、トランスコア材への応用の可能性を探るこ

とを目的とした。

2 実験方法

本実験には水熱合成法⁸⁾により合成した粉体を用いた。Photo. 1に水熱合成フェライト粉のTEM写真を示す。また、Table 1にTEM観察により求めた原料粉体の平均粒子径およびICP分析により求めた化学組成を示す。水熱合成フェライト粉の平均粒子径は $0.14\mu\text{m}$ であり、酸化鉄・酸化マンガン・酸化亜鉛を仮焼・粉碎して得られる原料粉に比べて細かく、また粒径が揃っている。

Photo. 1 TEM image of the powder prepared by hydrothermal method.

Table 1 Composition and particle size of the powder prepared by hydrothermal method.

Particle size	(μm)	0.140
Fe_2O_3	(mol%)	53.00
MnO	(mol%)	30.89
ZnO	(mol%)	16.11
FeO	(wt%)	0.29
SiO_2	(wt%)	0.004
CaO	(wt%)	0.011
Na_2O	(wt%)	0.001

この水熱合成フェライト粉に有機バインダーを適量添加し、 109MPa で金型成形後、 294MPa で 180s CIP成形し圧粉体を得た。これらの圧粉体を 30Pa の真空中で 1323K 、 14.4ks で焼成し、更に、 1298K 、 108MPa 、 7.2ks の条件でA r-HIP処理を行い、 $30\text{mm}\times 30\text{mm}\times 6\text{mm}$ の焼結体を得た。

透磁率(μ')、損失係数($\tan\delta$)は、超音加工にて上記焼結体より作製した外径 $10\phi\text{mm}$ ・内径 $6\phi\text{mm}$ ・板厚 1.5mm のリング試料を用い、 0.4A/m の印加磁界でインピーダンス法にて測定した。保磁力(H_c)は同じリング状試料を用いてB-Hループトレーサを用いて 800A/m の印加磁界にて測定した。固有抵抗(ρ)は四端子法にて測定した。鉄損および交流磁

化特性の測定は、凌和電子製磁化測定装置(MMS-0375-2.1B)を用いて測定した。尚、上記測定のうち鉄損の一部の測定以外はすべて室温にて行った。

3 実験結果および考察

3.1 磁気特性の比較

Photo. 2に水熱合成フェライト粉を用いて作製した微結晶フェライトの光学顕微鏡写真を商用トランス材と比較して示す。微結晶フェライトの平均結晶粒径は $2.1\mu\text{m}$ であり、商用トランス材料の $7.7\sim 10.9\mu\text{m}$ に比べて約 $1/4$ から $1/5$ の小さな粒径である。

Photo. 2 Microstructure of the fine grain size and the commercial ferrites.

Table 2 Comparison of the magnetic and electric properties of the ferrite with fine grain size and the commercial ferrites.

	Bs T	Hc $\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$	μ''	$\tan\delta^*$	ρ $\Omega\cdot\text{cm}$	Gs μm
This work	5200	40	2000	0.06	72	2.1
Commercial ferrites	A 5150	16	2200	0.29	600	9.2
	B 5300	16	2700	0.32	900	7.7
	C 5200	15	2700	0.33	1100	10.9

* $f=1\text{MHz}$, $H=0.4\text{Am}^{-1}$

Table 2 に微結晶フェライトと商用トランス材の磁気特性、物理特性を比較して示す。微結晶フェライトのBsは 5200Gauss であり商用トランス材とはほぼ同等、Hcは 40A/m と商用トランス材に対して約2.5倍大きな値であった。1MHzでの μ' は商用トランス材に比べて若干低いが、 $\tan\delta$ は約 $1/5$ とかなり小さな値となっている。抵抗は $72\Omega\cdot^\circ$ で商用トランス材の $600\sim 1100\Omega\cdot^\circ$ に比べ約 $1/10$ 程度の低い

値であった。

Fig. 1 に複素透磁率 (μ' と μ'') の周波数依存性を示す。微結晶フェライトは商用フェライトと比較して μ' の周波数特性が優れ、また、一般に磁壁の共鳴に起因する⁹⁾と考えられる μ'' の急激な増大が観察される周波数が高くなっている。磁壁の共鳴周波数は、これらのフェライトの磁壁の幅をほぼ一定と考えると、磁壁の長さの逆数の $1/2$ 乗に比例する¹⁰⁾。また、Mn-Zn フェライトにおいて結晶粒の微細化に伴い磁区が細分化される¹¹⁾ことが報告されていることから、本微結晶フェライトの磁区が商用フェライトの場合より細分化され、磁壁の長さが短くなり、その結果、磁壁の共鳴周波数が高い方に移動したものと推察できる。

Fig.1 Change in the permeability as a function of grain size for the ferrite with fine grain size and the commercial ferrites.

3. 2 鉄損の周波数特性

Fig. 2 に微結晶フェライトの $B_m = 50 \text{ mT}$ における鉄損の周波数特性を商用トランス材と比較して示す。微結晶フェライトの鉄損は周波数 $200 \text{ kHz} \sim 2 \text{ MHz}$ までの範囲で商用トランス材に比べて低い鉄損値を示し、 1 MHz の鉄損値は商用トランス材の約 70% であった。逆に周波数 100 kHz で微結晶フェライトの鉄損は商用トランス材とほぼ同じなり、更に低い周波数では商用トランス材より高くなる。

Fig. 3 に $B_m = 5 \text{ mT}$ として周波数 15 MHz ま

Fig.2 Change in the core loss as a function of frequency dependence for the ferrite with fine grain size and the commercial ferrites.

での鉄損を測定した結果を示す。商用トランス材は3種類ともほぼ等しい鉄損値を示したのに対し、微結晶フェライトでは周波数 $0.5 \text{ MHz} \sim 5 \text{ MHz}$ までの周波数範囲で、商用トランス材に比べて低い鉄損値を示し、周波数 1 MHz では商用トランス材の約 50% であった。この現象はすでに述べたように結晶粒の微細化による磁区の細分化のため磁壁の共鳴周波数が高くなったことと深く関係していると考えられる。周波数が 5 MHz 以上になると、微結晶フェライトの鉄損は商用トランス材のそれとほぼ等しくなる。

このように、微結晶フェライトの鉄損は周波数が高い領域で商用トランス材に比べて小さく、MHz帯で使用するトランスコア材として優れた素質を持つことが推察される。

3. 3 実用条件での鉄損評価

フェライトコア材がトランスとして実際に使用されている周波数と B_m で鉄損の評価を行った。Fig. 4 に周波数と B_m との積が $25 \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot \text{T}$ とした時の鉄損を 80°C で測定した結果を示す。なお、本条件は一般的に用いられているものである。周波数が 500 kHz までは微結晶フェライトの鉄損は商用トランス材のそれに比べて大きい、さらに周波数が高くなると微結晶フェライトの鉄損は商用トランス材より低くなり、周波数 1 MHz で 153 kW/m^3 であり商用トランス材の

Fig.3 Change in the core loss as a function of frequency for the ferrite with fine grain size and the commercial ferrites.

約75%であった。このように水熱合成フェライト粉を用いて作製した微細な結晶粒をもつMn-Znフェライトは、トランスのコア材の実用条件での鉄損が小さく、実用材として優れた材料であると言える。

4 まとめ

本実験で得られた結果を要約すると以下のようになる。

(1) 水熱合成フェライト粉を用いて作製した微結晶 Mn-Znフェライト (結晶粒径=2.1 μm) の室温での鉄損は、商用トランス材 (結晶粒径=7.7-10.9 μm) と比較して $B_m=5\text{mT}$ では0.5MHz-5MHzの周波数で、 $B_m=50\text{mT}$ では0.2MHz-2MHzの周波数で小さくなる。特に $B_m=5\text{mT}$ 、 $f=1\text{MHz}$ において微結晶Mn-Znフェライトの鉄損は商用フェライト材の約50%である。

(2) 微結晶Mn-Znフェライトの $f=1\text{MHz}$ 、 $B_m=25\text{mT}$ 、測定温度80°Cでの鉄損は153 kW/m^3 であり商用トランス材の約75%であった。

(3) 微結晶Mn-Znフェライトは500kHz-1MHzの周波数で用いられるトランスのコアとして有用である。

Fig.4 Change in the core loss as a function of frequency for the ferrite with fine grain size and the commercial ferrite.
 $B_m \cdot f = 25 \text{ k(T} \cdot \text{Hz)}$

文 献

- 1) 杉浦：電学誌112-1 (1992) 43.
- 2) 佐藤、榊：信学論J17-1,8 (1988) 1121.
- 3) T.sano, A.Morita and A.Matsukawa : Proceedings ICF-5, (1989) 595.
- 4) M.Sasaki, K.Ito, W.Ohashi and K.Watanabe : Proceedings ICF6, (1992) 811.
- 5) S.Nagata, Y.Takahashi, M.yarizumi and K.Aso : Proceedings ICF6, (1992) 1191.
- 6) R.Lebourgeois, C.Deljurie and J.P.Ganne : Proceedings ICF6, (1992) 1169.
- 7) 牧野彰宏, 山本豊, 坂詰直樹 : 粉体および粉末冶金, 39 (1992) 129.
- 8) S.Komarneni, E.Fregeau, E.Breval and R.Roy : J. Am. Ceram. Soc., 71 (1988) C-26.
- 9) 平賀貞太郎, 奥谷克伸, 尾島輝雄 : "電子材料シリーズ フェライト", (1986) 34.
- 10) 近角聡信 : "強磁性体の物理 (下)", (1984) 347.
- 11) P.J. van der Zaag, M.T. Johnson, A. Noordermeer : Proceedings ICF6, (1992) 819.