研 究

複合チップ部品用 NiCuZn 系パワーフェライト

斉藤 諭, 中野 敦之, 野村 武史

TDK (株)基礎材料研究所, 〒286 成田市南羽鳥字松ヶ下570-2.

NiCuZn Power ferrites for composite chip components

Satoshi Saito, Atsuyuki Nakano and Takeshi Nomura

Materials Research Center, TDK Corporation, 570-2 Aza-matsugashita Minami-hatori, Narita 286.

Received February 22, 1993

Effect of composition, residual stress and small amount of additives on the electromagnetic properties of low temperature sintered NiCuZn ferrite has been studied with reference to the loss analysis and the microstructure. It is shown that the total core loss has strong composition dependency and it is very important to control the composition to achieve low core loss for power use. The higher the residual stress, the higher the total loss, because of increase in hysteresis loss. Most effective additive is V_2O_5 .

1 緒 言

最近の電子部品の動向を見ると, 表面実装技術(SMT)の進歩にともない, 小型化, 軽量化, 高密度化がさらに加速され, チップ化が必要不可欠な要素となってきている. 電子部品の軽薄短小化に最も有効な手段は, 印刷法やシート法等により積層チップ化することであり, 現在, 各方面で積極的に研究開発が進められている^{1,2)}. その結果, 基本的な受動部品は大幅な小形化が実現し, コンデンサ及び抵抗においては1005タイプ(1.0mm×0.5mm)が, インダクタにおいては1608タイプが実現されている. 電源トランスにおいても, 小形化, 軽量化, 複合化のために, 積層化, 高周波化の検討が進められており, すでに, フェライトと内部導体を積層印刷して作られた積層形トランスの上に, 抵抗, ガラスを印刷し, さらにコンデンサ, IC, トランジスタ

等を搭載した世界最小のSMDタイプのDC/DCコンバータも開発されている³⁾. このDC/DCコンバータのモデルをFig.1に示す. トランスの内部導体にはAgが使用されている. Agを用いる理由としては, 安価であること, 他の導電材料に比べて導電率が高く低抵抗が期待できるためである. また, 磁性材料としては内部導体Agより低温で焼結が可能であり, 高周波での使用に対応できるNiCuZnフェライトが用いられている. 通常, パワーフェライトとしては主にMnZnフェライトが用いられているが, このように積層化するためには内部導体Agより低温で焼結するNiCuZnフェライトを用いる必要がある. そこで, 本研究ではNiCuZnフェライトのパワーフェライトとしての諸特性を明確にするとともに, 添加物, 応力の影響についても明らかにすることを目的とした.

II 試料及び実験方法

市販の α - Fe_2O_3 , NiO , CuO , ZnO 原料を所定の組成になるように秤量し, ステンレス製ボールミルを用いて16時間湿式混合(水)した後, 乾燥した。得られた混合物を空気中にて 700°C で, 3時間仮焼した後, ステンレス製ボールミルを用いて72時間粉碎, 乾燥し NiCuZn フェライトを得た。これにバインダーとしてPVA水溶液を加えた後, 十分混合し造粒した。得られた顆粒を金型にて外径13mm, 内径6mm, 厚み約2.5mmのトロイダルに成形した後, 空気中にて $870\sim 910^\circ\text{C}$ で2時間焼成した。得られたサンプルについて, 電磁気特性はLFインピーダンスアナライザ(4192A)を, コアロスハ-B-Hアナライザ(SY-8232)を用いてそれぞれ測定した。微細構造の解析には, 走査型電子顕微鏡(SEM)と透過型電子顕微鏡(TEM)を用いた。

III 実験結果及び考察

3.1 コアロスに及ぼす組成の影響

まずはじめに, NiCuZn フェライトの組成がコアロスに与える影響について調べた。結果をFig. 2に示す。初透磁率(μ_i), 品質係数(Q)についてはすでに報告されているように⁴⁾, NiO 量が増加するにつれて μ_i が低くなりQが高くなる傾向にあり, ZnO 量が増加するにしたがって μ_i が大きくなりQが低くなる傾向にある。コアロスについては, ZnO 量と NiO 量の比が大きく影響しており, 特に, NiO 量が増加するにつれてコアロスは急激に大きくなっている。500kHz, 20mTで測定した場合, ZnO 量: 32mol%, NiO 量: 7mol%, CuO 量: 13mol%付近に最小となる点が存在することが分かる。この原因について調べるために, ロス分析を行った。結果をFig. 3に示す。一般にコアロスはヒステリシス損失と渦電流損失の和として表される。 μ_i が低い組成つまり NiO 量が多い組成においてはヒステリシス損失が支配的であり, μ_i が高い組成つまり ZnO 量が多い組成においては渦電流損失が支配的である。両者のバランスのとれた μ_i が700~800付近においてコアロスが最小となることが分かる。

上記のような傾向になる原因を調べるために, NiO -richな組成と ZnO -richな組成のサンプルの結晶粒径, 比抵抗の比較を行った。結果をPhoto. 1に示す。結晶粒径, 比抵抗ともに大きな差は無いことが分かる。通常のパワーフェライトにおいては, 式(1)および(2)に示すように渦電流損失と比抵抗の間には非常に深い関係があると言われているが⁵⁾, NiCuZn フェライトの場合

Fig. 1 Schematic model of DC/DC converter.

Fig. 2 Core-loss of the NiCuZn ferrite represented in the miscibility diagram.

Fig. 3 Relationships between initial permeability and core loss.

NiO rich composition
Grain size: $2.0\mu\text{m}$
Resistivity: $2 \times 10^9 \Omega\text{cm}$

ZnO rich composition
Grain size: $2.5\mu\text{m}$
Resistivity: $1 \times 10^9 \Omega\text{cm}$

Photo.1 Effect of composition on grain microstructure and specific resistivity.

には比抵抗が高く、組成による比抵抗の差があまり無いことから、比抵抗の影響は小さく μ_i の影響が大きいものと考えられる。また、ヒステリシス損失については、 μ_i が大きくなるにしたがってヒステリシス損失が小さくなるという傾向にあり、式(1)と非常によく一致した結果となっている。

ヒステリシス損失：

$$\tan \delta_h = 4 \eta H / 3 \pi \mu \quad (1)$$

η : レーリー定数

渦電流損失：

$$\tan \delta_e = (\pi \mu t^2 / c \rho) f \quad (2)$$

t : 磁心の寸法
 c : 定数
 ρ : 比抵抗

以上をまとめるとNiCuZnフェライトにおいては、電磁気特性の組成依存性が非常に強いのと同時に、コアロスについても非常に組成依存性が強いことが明らかとなった。

次に、コアロスの温度特性について調べた。パワー材の場合、コアロスが小さいほど好ましいのは当然であるが使用温度付近においてコアロスの温度特性が負の傾きを持つことが非常に重要である。すなわち、トランス自体が発熱した場合、温度上昇によりコアロスが減少し結果として熱暴走を防止できるという性質を持つことが重要である。Fig.4にキュリー温度が異なる3つのサンプルのコアロスの温度特性を示す。キュリ

Fig.4 Temperature characteristic of core loss.

ー温度は組成依存性が非常に強く、NiO-richな組成ほどキュリー温度が高くZnO-richな組成ほどキュリー温度が低いことがすでに報告されている³⁾。Fig.4から分かるようにキュリー温度が高い、つまりNiO-richな組成のものは負の傾きを持ち、キュリー温度が低くなるにつれてつまりZnO量が增大するにつれて正の傾きを示すようになって行くことが分かる。この原因を調べるために再びロス分析を行った。結果をFig.5に示す。NiO-richでヒステリシス損失が支配的な組成では温度の上昇に伴ない μ_i が増大し、これに対応してヒステリシス損失は減少し全体的なコアロスもこれに対応して減少したものと考えられる。ZnO-richで渦電流損失が支配的な組成では温度の上昇に伴ない比抵抗が大きく低下することから、渦電流損失が大きく増大し、全体的なコアロスもこれに対応して増大したものと考えられる。

以上についてまとめると、コアロスの温度特性についても組成依存性が非常に強いことが明らかとなった。

Fig.5 Temperature characteristics of core loss.

(a) NiO rich composition,

(b) ZnO rich composition.

3.2 コアロスに及ぼす応力の影響

NiCuZnフェライトは応力に対して非常に敏感であり、応力加わることによりその電磁気特性が大きく変化することがすでに報告されている^{6) 7)}。そこで、コアロスに及ぼす応力の影響について調べた。

外部応力と μ_i の関係をFig.6に示す。NiO-richな組成もZnO-richな組成も応力加わることによって μ_i が大きく低下していることが分かる。また、その低下の割合は μ_i の高いZnO-richな組成のものほど大きいことが分かる。

次に、応力とコアロスの関係についてFig.7に示す。NiO-richなヒステリシス損失が支配的な組成では、

Fig.6 Effect of external stress on initial permeability.

Fig.7 Effect of external stress on core loss.

(a) NiO rich composition,

(b) ZnO rich composition.

V₂O₅: No addition

	V ₂ O ₅ Analysis data
Inside of grain	0.19
Grain boundary	0.19

V₂O₅: 5000ppm

	V ₂ O ₅ Analysis data
Inside of grain	0.44
Grain boundary	1.51

* Intensity ratio of X-ray as Fe intensity is 100.

Photo.2 TEM images and V₂O₅ concent analyzed by X-ray microanalysis.

μ_i の低下に対応してヒステリシス損失が増大し、全体的なコアロスも増大していることが分かる。ZnO-richで渦電流損失が支配的な組成でも同様に μ_i の低下に対応してヒステリシス損失が増大している。その割合は μ_i の低下の割合と同様にNiO-richな組成のものより大きな割合となっており、全体的なコアロスの増大の割合もNiO-richな組成のものより大きくなっていることが分かる。

以上をまとめると、外部応力はコアロスに非常に大きな影響を与える。いかなる組成においてもコアロスの低減のためには残留応力を小さくすることが非常に重要であることが明らかとなった。

3.3 コアロスに及ぼす添加物の影響

コアロスを改善するために、SiO₂、B₂O₅、P₂O₅、SnO₂、TiO₂等の各種微量添加物の検討を行った。その結果、V₂O₅の添加がコアロスの低減に最も有効であった。Fig.8にV₂O₅を添加した場合のコアロスに及ぼす影響について示す。V₂O₅添加量の増加に伴って特に渦電流損失が大幅に低下し、それに伴って全体のコアロスも低下していることが分かる。

この原因を明らかにするためにV₂O₅無添加のものとV₂O₅を5000ppm添加したものの比抵抗の比較を行った。

結果は、両者の間にほとんど差は無く比抵抗の影響は小さいことが明らかとなった。そこで、さらに原因究明のためTEMによる観察を行った。V₂O₅無添加のものとV₂O₅を5000ppm添加したものの焼結体のTEM像と粒界粒内部分のV₂O₅の分析値をPhoto.2に示す。これから、微細組織上ほとんど差はなくV₂O₅は主に粒界部分に存在していることが分かる。現在のところ、V₂O₅の分布状態と渦電流損失の低下の間の関係は明確になっていない。今後、V₂O₅の分布状態と渦電流損失の関係を明確にすることが必要である。

Fig.8 Effect of V₂O₅ addition on core loss.

IV 結 論

積層チップトランス用低温焼結NiCuZnフェライトの電磁気特性, コアロスに及ぼす組成, 応力, 添加物の影響について調べることを目的として様々な検討を行った。得られた結論を以下に示す。

- (1) 組成的にはNiO: 7mol%, ZnO: 32mol%, CuO: 30mol%付近にコアロスの最小点が存在し, NiO-richになるほどヒステリシス損失が増大し, ZnO-richになるほど渦電流損失が増大する。
- (2) キュリー温度(組成)とコアロスの温度特性の間には, 強い相関関係があり, キュリー温度が高くなると(NiO-rich)コアロスの温度特性は負の傾きを持ち, キュリー温度が低くなると(ZnO-rich)コアロスの温度特性は正の傾きを持つようになる。
- (3) 外部応力が加わると, コアロスは増大し, これは主にヒステリシス損失の増大に起因する。

- (4) コアロスを改善する添加物としては, V_2O_5 が非常に有効である。

文 献

- 1) 高谷稔: 電子技術, 25, 42(1983)。
- 2) 野村武史, 高谷稔: HYBRIDS, 3, 15(1987)。
- 3) M.Takaya: Prod. of Internl Symposium on Micro-electronics Japan, 25(1988)。
- 4) 中野敦之, 小関健二, 鈴木孝志, 渡辺秀雄, 野村武史: 第10回武井セミナー予稿集, (1990)1。
- 5) 金子秀夫, 本間基文: "磁性材料", 日本金属学会, (1977)。
- 6) 神谷貴志, 中野敦之, 野村武史: 粉体及び粉末冶金, 39(1992), 999。
- 7) J.Smit and H.P.Wijn: "Ferrite", Philips Res. Lab. (1959)。