

高透磁率複合磁性微粒子を用いたインダクタの試作 A study on micro-inductors using high permeability composite ferrofluid

学籍番号 s07602 氏名 鹿島秀人

指導教員主査 吉澤伸幸教授
副査 大杉功 教授

概要

サイズの大きく異なる磁性微粒子を混合することで、微粒子材料の特性を劣化させる反磁界を大きく低減することができ、また、圧縮成型なしで高密度にできることから、透磁率を向上できる。

これを巻線型微小インダクタに用いた場合、同サイズのフェライトインダクタより高いインダクタンスを得られることがわかった。

また、この磁性微粒子を用いる方法は巻線型インダクタと同様、スパイラルインダクタにも有効であることが確認できた。

1. はじめに

近年、携帯電話などのモバイル機器の発展とともに、使用素子のダウンサイジングが進んでいる。中でもインダクタは、中心に磁心材料を用いることで性能を向上させて小型化を図っている。一般的に使用されている磁心材料はフェライトであり、製造工程において、圧縮成型、高温焼成が必要である。それに対し、複合磁性微粒子材料は圧縮成型、高温焼成の必要が無く、流体であるためにインダクタとの密着性が良いことから磁心材料に適している。

この複合磁性微粒子材料をインダクタに用いることでフェライトインダクタと同等のインダクタンスを得ることができれば、フェライト磁心に代わる新しい磁心材料として期待できる。

そこで、本研究では、複合磁性微粒子材料を用いたインダクタの試作を行い特性の評価を行った。

2. 複合磁性微粒子材料

複合磁性微粒子材料は、大きさの大きく異なる2種類の磁性微粒子の複合体であり、平均粒径 $1\mu\text{m}$ のFe粒子と平均粒径 10nm の Fe_3O_4 粒子をイソパラフィンに分散したものである。これらを混合することで、粒径の大きいFe粒子間に粒径の小さい Fe_3O_4 粒子が入り込み閉磁路を形成することができるため、高い透磁率を得ることができる¹⁾。複合磁性微粒子材料のSEM画像を図1に示す。

これをインダクタ用磁心材料として利用する場合、流体の状態でインダクタに塗布し、約 100°C で加熱することでイソパラフィンを揮発させて固定させる。そのため、フェライト磁心のような圧縮成型、高温焼成の必要がないことから、インダクタの形状やサイズの大きさに関して自由度が高いという特徴がある²⁾。

3. 巻線型インダクタの試作

(i) 空心インダクタの製作

複合磁性微粒子材料を用いるインダクタを試作するために、線径 0.1mm 、内径 2mm 、巻数10ターンの空心インダクタを製作した。製作したインダクタを図2に示す。

(ii) 特性

製作した空心インダクタのインダクタンスをベクトルインピーダンスメータ(4193A:HP社製)で測定し、(1)式で算出した理論値と比較した。

図5に、測定した結果を示す。図より、空心時のインダクタンスの値は、 $L=0.180[\mu\text{H}]$ となった。

次に、計算によりインダクタンスを求める。一般的な単層コイルのインダクタンスは以下に示す式で求めることができる³⁾。

$$L = 0.03948 \frac{R^2 N^2}{l} K [\mu\text{H}] \cdots (1)$$

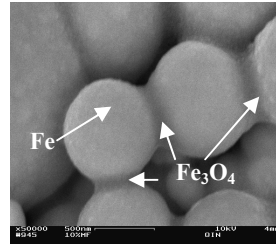


図1 SEM画像
(東北大学多元物質研究所)

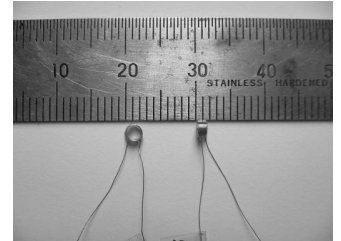


図2 空心巻線型インダクタ

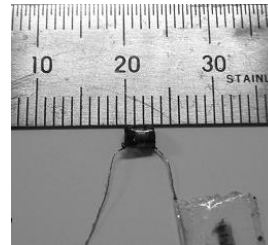


図3 複合磁性微粒子材料充填インダクタ

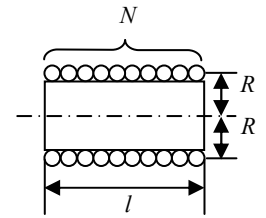


図4 巻線型インダクタ
諸記号

表1 複合磁性微粒子材料充填条件

	加熱硬化	磁界印加*	超音波印加**
①	○		
②	○	○	
③	○	○	○

*2[kOe] **42[kHz]

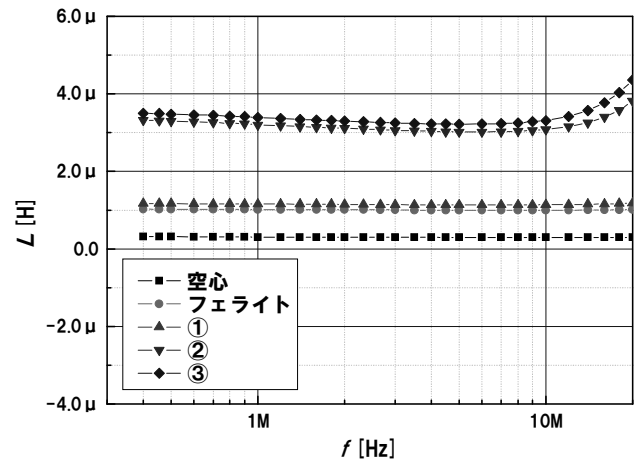


図5 巻線型インダクタL-f特性

ただし、図4に示す様に、

N : 巻数 R : 半径[cm]

l : 全長[cm] $K: 2R/l$ で決まる定数³⁾

ここで、今回製作した値は、

N : 10ターン R : 0.105[cm]

l : 0.14[cm] K : 0.5950

これを(1)式に代入して、

$$L = 0.03948 \times \frac{0.105^2 \times 10^2}{0.14} \times 0.5950 = 0.185 [\mu\text{H}]$$

となり、製作したインダクタのインダクタンスは理論値と誤差2.7%以内で一致した。

(iii) 複合磁性微粒子材料充填インダクタの試作

巻線型インダクタに複合磁性微粒子材料を充填した場合のインダクタを試作し、特性を評価した。この試作したインダクタと同径のフェライトインダクタを比較すると、前者のインダクタンスが後者のインダクタンスとほぼ同じ値となった(図5 フェライト、①)。この結果、複合磁性微粒子材料を用いることでフェライトインダクタと同等のインダクタンスが得られた。

次に、外部磁界等を印加することで、材料内部での微粒子の移動を誘発し閉磁路を形成しやすくなるという予測から、巻線型インダクタに複合磁性微粒子を充填後、表1に示す3つの条件でインダクタを試作し、特性を評価した(図5 ①、②、③)。

その結果、③の条件で試作したインダクタにおいて、高いインダクタンスを得ることができた。これより、外部磁界等を加えたことで Fe_3O_4 粒子とFe粒子が閉磁路を形成しやすくなり、インダクタンスが向上したと考えられる。

4. スパイラルインダクタの試作

(i) 空心インダクタの製作

図6のような空心インダクタを感光基板のエッチングにより製作した。製作したインダクタを図7に示す。インダクタは、12.5 mmの正方形、導体幅0.3mm、ギャップ0.3mm、巻数10ターンとした。

(ii) 特性

空心インダクタのインダクタンスは、ベクトルインピーダンスメータで測定し、(2)式により算出した理論値と比較した。

図8にベクトルインピーダンスメータにより測定した結果を示す。図より、空心時のインダクタンスの値は、 $L=0.620[\mu\text{H}]$ となった。

次に、計算によりインダクタンスを求める。図6に示す正方形スパイラルインダクタのインダクタンスは以下に示す式で求めることができる³⁾。

$$L = 0.141an^{(5/3)} \log\left(\frac{a}{c}\right) [\mu\text{H}] \cdots (2)$$

この時、

$$a = \frac{D_0 + D_i}{4} \quad c = \frac{D_0 - D_i}{2}$$

$$l[\text{inch}] = 25.4[\text{mm}]$$

n :巻数

ここで、今回製作したインダクタの D_0 、 D_i 値を(2)式に代入して計算すると、

$$D_0 = 12.9[\text{mm}] = 0.508[\text{inch}]$$

$$D_i = 0.9[\text{mm}] = 0.0354[\text{inch}]$$

$$a = \frac{0.508 + 0.0354}{4} = 0.136$$

$$c = \frac{0.508 - 0.0354}{2} = 0.236$$

より、

$$L = 0.141 \times 0.136 \times 10^{(5/3)} \log\left(8 \times \frac{0.136}{0.236}\right) = 0.591 [\mu\text{H}]$$

となり、製作したインダクタのインダクタンスは理論値と誤差4.9%以内で一致した。

(iii) 複合磁性微粒子材料充填インダクタの試作

スパイラルインダクタに複合磁性微粒子材料を充填した場合のインダクタを試作し、特性を評価した。インダクタンスの測定にはベクトルインピーダンスメータ(4193A:HP社製)を用いた。

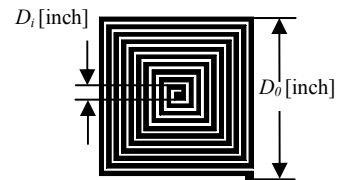


図6 スパイラルインダクタ諸記号

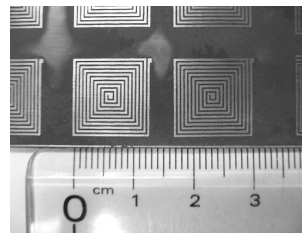


図7 空心スパイラルインダクタ

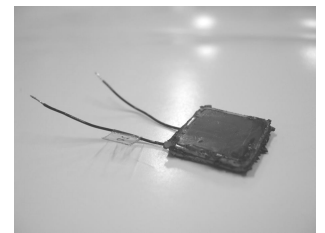


図8 複合磁性微粒子材料充填スパイラルインダクタ

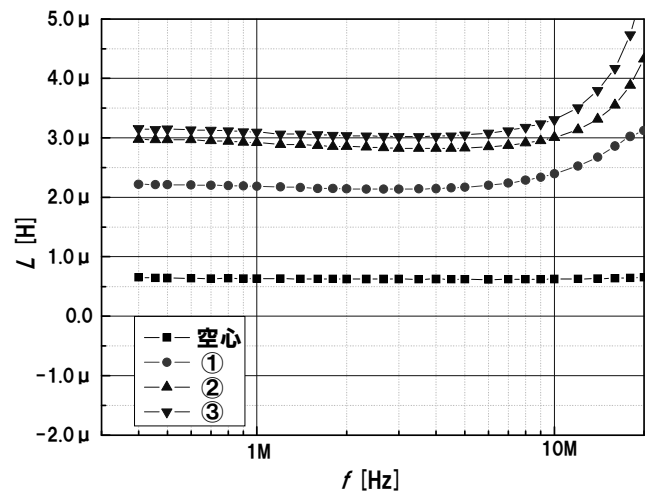


図9 スパイラルインダクタL-f特性

複合磁性微粒子材料は“パターンがある表面”と“裏側ポリイミド”の両方の面に充填した。試作したインダクタを図8に示す。

複合磁性微粒子材料充填時と空心時のインダクタンスを比較すると、前者のインダクタンスが後者に比べ高い値となった(図9 空心、①)。また、巻線型インダクタと同様、表1に示す3つの条件で比較測定したところ、③の条件で高いインダクタンスが得られた(図9 ①、②、③)。

以上より、複合磁性微粒子材料を用いることは、巻線型インダクタのみならずスパイラルインダクタにおいても有効であるという結果が得られた。

5. 終わりに

3.で述べたように、複合磁性微粒子材料を用いることでフェライトと同等のインダクタンスを得ることができたことから、複合磁性微粒子材料を利用することで高いインダクタンスを得られ、インダクタの性能向上にとって有効であることがわかった。

また、4.で述べたように、この方法は巻線型インダクタと同様、スパイラルインダクタにも有効であることが確認できた。

総合的にみて、比較的簡単な製造方法により高いインダクタンスが得られたことから、フェライト磁心に代わる新材料として期待できるものと思われる。

参考文献

- 1) Y. Shimada, M. Yamaguti, S. Okamoto, O. Kitakami, G. W. Qin, K. Oikawa: J. Magn. Soc. jpn. 30 540-544 (2006)
- 2) 吉澤伸幸、鹿島秀人、島田寛、第31回日本応用磁気学会学術講演会概要集 11pB-5 (2007)
- 3) 吉田武、改訂高周波回路設計ノウハウ、CQ出版 pp.36-45 (1996)