

## 複合扁平磁性微粒子コンポジットを用いた マイクロインダクタの電気特性評価

遠藤恭<sup>1</sup>, 佐藤寛之<sup>1</sup>, エルデネバットウヌボルド<sup>1</sup>, 宮崎孝道<sup>1</sup>, 山口正洋<sup>1</sup>, 鎌田博<sup>2</sup>, 高橋正仁<sup>2</sup>,  
坂元真彦<sup>2</sup>, 米田茂<sup>2</sup>, 加藤直也<sup>2</sup>, 萬恭明<sup>3</sup>, 安井隆<sup>3</sup> (<sup>1</sup>東北大工, <sup>2</sup>光電子(株), <sup>3</sup>(株)リコー)

Study on the electric performance of micro-inductors with magnetically soft spheres and flakes composite

Y. Endo<sup>1</sup>, H. Sato<sup>1</sup>, U. Erdenebat<sup>1</sup>, T. Miyazaki<sup>1</sup>, M. Yamaguchi<sup>1</sup>, H. Kamada<sup>2</sup>, M. Takahashi<sup>2</sup>,  
M. Sakamoto<sup>2</sup>, S. Maita<sup>2</sup>, N. Kato<sup>2</sup>, Y. Yorozu<sup>3</sup>, T. Yasui<sup>3</sup>  
(<sup>1</sup>Tohoku Univ., <sup>2</sup>Hikaridenshi Co., LTD, <sup>3</sup>Ricoh Co., Ltd)

**はじめに** 近年, 小型携帯端末において多機能化が進み, また内蔵されている LSI の低電圧・大電流駆動化にともなうて, 電子機器内の電源回路における消費電力は増大している. そのため, 電池の使用時間の向上と電源-配線間での損失を減少させる方法の一つとして, DC-DC コンバータのワンチップ化が提案されている<sup>1)</sup>. しかしながら, この方法では DC-DC コンバータの高さが増加することが予想され, 半導体素子と比べて寸法が大きくエネルギー密度の低いインダクタの小形・低背化が課題である. したがって, 高いインダクタンス密度が必要であり, 高飽和磁化を有する磁心材料を用いることが進められている. 本研究では, 高飽和磁化を有する複合扁平磁性微粒子コンポジットを用いたマイクロインダクタを試作し, その電気特性を評価した結果を報告する.

**実験方法** マイクロインダクタの設計指針として, スイッチング周波数 6 MHz で 5 W 級のバックコンバータへの適用を想定した. 電気特性に関しては, 定格電流 1 A においてインダクタンス 0.5  $\mu\text{H}$  以上, 直流および交流抵抗 0.1 および 2  $\Omega$  以下とし, また寸法に関しては高さ 0.5 mm 以内および外径 3.0 mm 以内とした. マイクロインダクタの設計・試作を行うにあたり, インダクタの素線にはコイル単体の直流抵抗を抑制するために丸線を, また, 複合微粒子としては, サブミクロン径の Fe-Cr-B-Si-C 球形微粒子と, 平均粒径 50  $\mu\text{m}$ , 厚さ 3  $\mu\text{m}$  の Fe-B-Si-C 扁平微粒子を選択した. なお, 扁平微粒子については, 球形状から扁平形状への加工時に発生する応力の緩和を図り, 良好な軟磁気特性と表面の絶縁性を保持するため, Ar ガス加圧下で 350°C, 1 時間熱処理を施した<sup>2)</sup>.

インダクタの試作に関しては球形および扁平微粒子とエポキシ系樹脂のコンポジットを治具に滴下し, コイルを埋め込み, 圧力配列<sup>2)</sup>によりコイルから発生する磁束の方向に沿って扁平微粒子を一様に並べた上で, 熱硬化させて成形した. 試作したインダクタの寸法は高さ 0.52 mm, 外径 3.0 mm とおよそ設計指針を満足している. インダクタの電気特性はインピーダンスアナライザ(4294A, Agilent Co.)による実測をもとに周波数 110 MHz まで評価した.

**結果** 試作したマイクロインダクタにおける電気特性の周波数依存性を図 1 に示す. インダクタンス  $L$  は周波数の増加にともなわずかに減少した. 周波数 6 MHz での  $L$  の値は 0.53  $\mu\text{H}$  であり, 空心コイルの場合 ( $L=0.072 \mu\text{H}$ ) と比較して 7 倍程度高くなった. また, 直流抵抗  $R_{\text{DC}}$  は約 0.05  $\Omega$  となり, 抵抗  $R_{\text{AC}}$  は周波数の増加とともに増大した. 周波数 6 MHz での  $R_{\text{AC}}$  は 1.4  $\Omega$  となった. この  $R_{\text{AC}}$  の挙動は Fe-B-Si-C 扁平微粒子内の磁気損失および巻線の表皮効果によると考えられる. また,  $Q$  値は周波数 3 MHz 付近で最大となり, その値は 17.2 であった. さらに, 周波数 1 MHz における直流重畳特性測定からインダクタンスの変化率を検討した. 変化率はおよそ 20 %程度であり, Fe-B-Si-C 扁平微粒子だけを用いた場合<sup>2)</sup>とほぼ同等であった. 以上の結果は, 複合微粒子コンポジットを用いたインダクタが定格電流 1 A の設計指針を満足していることを示している.

**謝辞** 本研究の一部は, JST 復興促進プログラム(マッチング促進)「次世代個人情報端末に有用な超小型電源の開発」による支援を受けて行われた.

**参考文献** 1)S.C.O' Mathuna *et al.*, *IEEE Trans. Power Electron.*, **38**, 585 (2005).. 2)Y. Endo *et al.*, IINTERMAG 2015 Abstract DH-08 (2015).

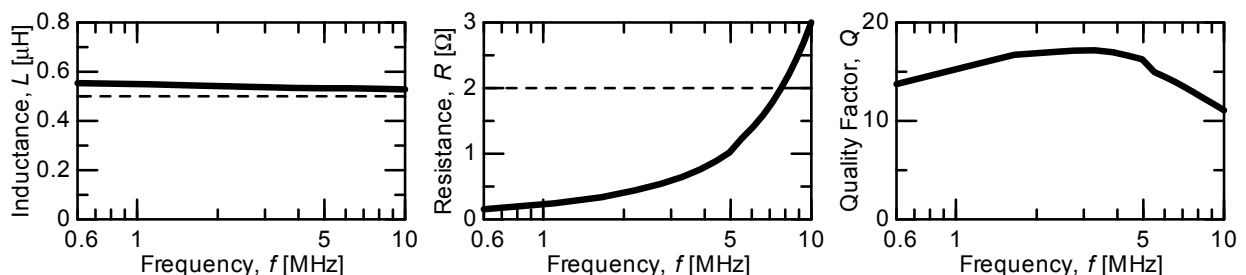


Fig. 1 Frequency dependence of electric performances in the micro-inductor with magnetically soft spheres and flakes composite.