

軟磁性扁平微粒子コンポジットを用いた マイクロインダクタの試作と電気特性評価

佐藤 寛之¹, 遠藤 恭¹, 宮崎 孝道¹, 山口 正洋¹,
鎌田 博², 高橋 正仁², 坂元 真彦², 米田 茂², 加藤 直也² (¹東北大工, ²光電子(株))
Study on the electrical characteristics of micro inductors with magnetically soft flakes composite
Hiroyuki Sato¹, Yasushi Endo¹, Takamichi Miyazaki¹, Masahiro Yamaguchi¹,
Hiroshi Kamada², Masahito Takahashi², Masahiko Sakamoto², Shigeru Maita² and Naoya Kato²
(¹Tohoku Univ., ²Hikaridenshi Co., LTD)

はじめに 近年, 小型携帯端末に内蔵されている LSI の低電圧駆動化が進み, 集積化や高機能化に伴い消費電流は増大している。そこで, 電源-配線間の損失を減少させるため, DC-DC コンバータのワンチップ化が求められている¹⁾。しかしながら, インダクタは半導体素子と比べて寸法が大きいため, 小型・低背化したインダクタの開発が重要となる。そのためには高いインダクタンス密度が必要であり, 高飽和磁化の磁心材料を用いる指針が考えられる。本研究では, 高飽和磁化 M_s を有する Fe-B-Si-C 扁平微粒子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 本研究におけるマイクロインダクタの設計指針は, 定格電流 1 A においてインダクタンス 0.5 μH 以上および直流抵抗 100 m Ω 以下, 寸法は高さ 0.5 mm 以内および外径 3.0 mm 以内とした。設計・試作を行うにあたりインダクタの素線には直流抵抗低減のために平角線を, また, 磁性扁平微粒子には平均粒径 50 μm , 厚さ 3 μm の Fe-B-Si-C 扁平微粒子を選択した。この微粒子は球形から扁平加工を行う際に応力がかかるために, 良好な軟磁気特性を得つつ表面の絶縁性の保持のために, Ar ガス加圧下での熱処理を行った。

インダクタの設計には磁気回路を用いた。空心コイルの巻数および幅ならびにインダクタ上下の磁性扁平微粒子厚を変化させて解析した。なお, 解析において必要なパラメータである, 磁性扁平微粒子の比透磁率および損失項についてはフェライトヨーク法を用いて実測した。インダクタの試作に関しては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²⁾により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設計指針を満足している。インダクタの電気特性は, 電磁界シミュレータ (Maxwell 3D ver. 15.0, Ansys 社製) による予測および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 10 MHz まで評価した。

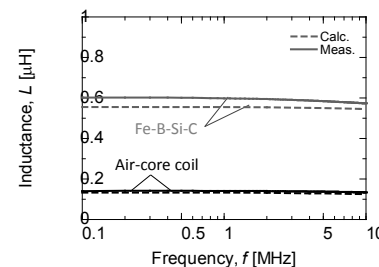
実験結果 空心コイルおよび磁性扁平微粒子を塗布したインダクタにおける電気特性の測定結果を Fig. 1 に示す。空心コイルの場合, 図中の実線に示すように, インダクタンスは周波数に依存せずほぼ一定となり, 抵抗は周波数の増加とともに増大した。これらの結果は, いずれも解析結果と概ね一致した。

Fe-B-Si-C 扁平微粒子を用いたインダクタの場合, インダクタンスは周波数に依存せず一定となった。その値は, 空心コイルと比べて 3.5~4 倍程度高く, 0.6 μH となった。また, 直流抵抗は約 93 m Ω となり, 抵抗は周波数の増加とともに増大した。これらの結果は, Fe-B-Si-C 扁平微粒子内の磁気損失および巻線内の渦電流によると考えられる。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 15~19 % であり, 以前に検討した Co-Fe-B-Si の場合²⁾ に比べて半分程度減少した。この結果から, 直流重畳時に Fe-B-Si-C 扁平微粒子を用いたマイクロインダクタでは高インダクタンスを得られたことがわかった。以上より, Fe-B-Si-C 扁平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表している。

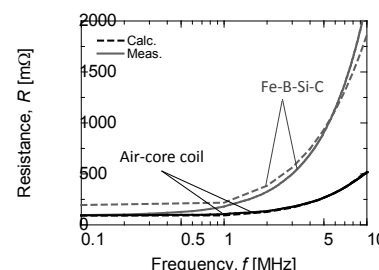
謝辞 ご助言いただきました同大学島田寛名誉教授, 株式会社リコー中央研究所安井隆氏に感謝する。本研究の一部は, JST 復興促進プログラム(マッチング促進)「次世代個人情報端末に有用な超小型電源の開発」による支援を受けて行われた。

参考文献 1) Mathuna et al., *IEEE Trans. Power Electron.*, **38**, 585 (2005)

2) 佐藤寛之他: , 第 38 回日本磁気学会学術講演概要集 (2014) 掲載



(a) Frequency dependence of inductance.



(b) Frequency dependence of resistance.

Fig. 1 Frequency dependence of inductance and resistance in the air coil and the coil coated with magnetically soft flakes.