

高絶縁ダストコアの開発と SMD インダクタへの応用

中野 心哉¹⁾ 黒崎 紘史²⁾ 大槻 悦夫³⁾

1. はじめに

近年、電子機器類の高性能化、多機能化が急速に進んでいる。それに伴い、小型化、軽量化への要求も強くなっている。また、スマートフォンなどの小型機器においては、省電力化のため駆動電圧を抑えて大電流化する傾向にある。そのため、DC-DC コンバータに搭載されるインダクタにおいても小型化、大電流化が強く求められている⁽¹⁾。

従来、フェライトコアを用いたインダクタが多く使用されてきた。しかし、フェライトインダクタは、飽和磁化が小さいため、大電流に対応することが困難である。そのため、磁気飽和抑制の目的から飽和磁化が大きく直流重畳特性に優れたインダクタが求められている。

フェライトと比較して飽和磁化が大きく、直流重畳特性に優れた Fe-Si-Al(センダスト)合金粉末を利用したインダクタが試みられてきた。しかし、Fe-Si-Al 合金粉末は固有抵抗が低いため、ダストコアとして SMD インダクタに適用した時、リーアショートを防止するケース等が必要となり、小型化に不向きであった。粉末の絶縁性を上げるには、非磁性材料を添加して粉末表面に絶縁層を形成する必要がある。そのため、高絶縁を得るには大量の非磁性材料を添加する必要がある。しかしながら、大量に非磁性材料を添加すると粉末表面の絶縁層が厚くなり、透磁率やコアロスといった磁気特性が低下する問題がある。

また、Fe-Si-Al 合金粉末は非常に硬くて脆いため、圧縮成形したコアに切削加工を施そうとすると、コア欠けやヒビ割れが生じて SMD インダクタに適した小型コアを製造することが困難であった⁽²⁾。

本稿では、コア欠けやヒビ割れが無く、かつ絶縁性が高い

ダストコアの技術開発を行い、従来成し得ることができなかった SMD インダクタを開発・実用化したので報告する⁽³⁾。

2. 磁性コアの開発

(1) ダストコアの高絶縁化

従来のダストコアは、絶縁性を高めるために非磁性材料の添加量を増やす方法があるが、単純に添加量を増やすと透磁率やコアロスなどの磁気特性が低下する。その対策として、水ガラスで磁性粉末の表面をコーティングする方法がある。しかし、ダストコアは高压で圧縮成形するため加工歪みが生じる。この加工歪みを除去するには高温での熱処理が必要となる。高温で熱処理すると磁性粉末表面で水ガラスが粒状になり、磁性粉末の表面をガラスが覆わなくなるため、絶縁性を確保することができなくなる。一方、水ガラスが粒状にならないよう熱処理温度を低くすると、加工歪みを除去できず透磁率やコアロスが低下する問題が起こる。

著者らは、絶縁性を確保しつつ高透磁率および低コアロスの特性を得るための方法を見出した⁽⁴⁾。

Fe-Si-Al 合金粉末に絶縁性化合物を含んだ非磁性材料とを混合することで粉末表面に絶縁性化合物が付着し強固な絶縁層を形成することを見出した。これにより圧縮成形で十分な成形密度が得られるため、高透磁率や低コアロスといった特性を確保できる。更に、絶縁性化合物であれば高温で熱処理した場合でも絶縁性の高いダストコアを得ることができる。

今回開発したダストコアについて、電気抵抗、透磁率およびコアロスを測定したのでその結果を表 1 に示す。なお、比較対象として従来のダストコアの測定結果もあわせて表 1 に示す。絶縁性の指標となる電気抵抗は、一般的に電子回路に用いられている Ni-Cu-Zn 系フェライトの比抵抗値($1 \times 10^3 \Omega \cdot m$)とした。

測定結果から分かるように、今回開発したダストコアは高絶縁を確保することができ、透磁率およびコアロスといった磁気特性も優れている。

* 東邦亜鉛株式会社 東邦亜鉛テクニカルセンター：
1)主任 2)係員 3)センター長
Development of High Resistive Dust Core and It's Application to
SMD Inductors; Shinya Nakano, Hirofumi Kurosaki, Etsuo
Otsuki (TOHO ZINC CO., LTD.)
2011年11月1日受理

表1 ダストコアの測定結果.

	電気抵抗 ($\Omega \cdot m$)	透磁率	コアロス (kW/m^3)
従来コア	4.0	70	912
開発コア	2.5×10^6	65	781

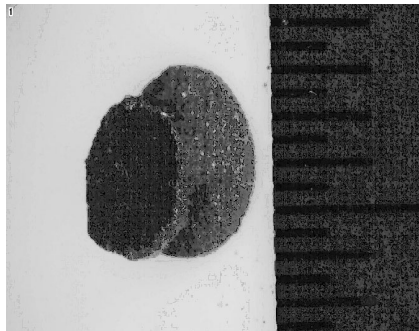


図1 従来材による切削コア.

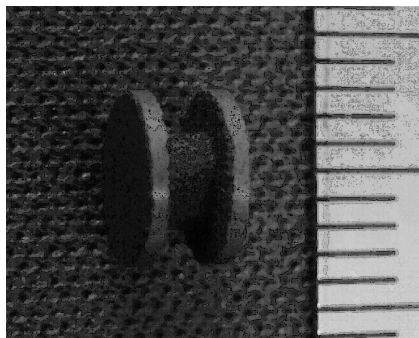


図2 開発材による切削コア.

(2) ダストコアの加工性

フェライトコアの場合、緻密な焼結体であるため切削加工がしやすく、鏝部分にコア欠けやヒビ割れが入りにくいことから多く用いられてきた. 一方, Fe-Si-Al 合金は硬くて脆いため成形体を切削加工すると割れや欠けが生じ, 図1のようにコアの形状を維持することができなかった. そこで, 著者らは Fe-Si-Al 合金をボールミル等を利用して粉末状に粉砕し, 篩い分け等により粉末の粒径を $75 \mu m$ 以下に調整した磁性粉末を作製した. $75 \mu m$ 以下に調整した磁性粉末を圧縮成形し, 成形体を成形する. この成形体であれば, 切削加工してもコア欠けやヒビ割れが生じにくいコアを得ることができる(図2参照)⁽⁵⁾.

ダストコアの切削技術を開発したことで, SMD タイプの小型インダクタへの適用が可能となった.

3. 開発したインダクタの構造

開発したダストコアを採用して, 従来に無い SMD インダクタ(以下, ダストドラムコイルと呼ぶ)を開発した. 開発したダストドラムコイルは, 構造の違う2シリーズからなる. ドラムコアに巻線し, スリーブコアでシールドした構造の「TCM シリーズ」(図3(a))と成形コアで空芯コイルをは

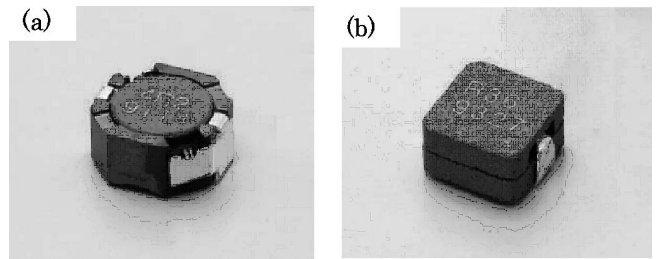


図3 ダストドラムコイル.
(a)TCM シリーズ, (b)TCH シリーズ

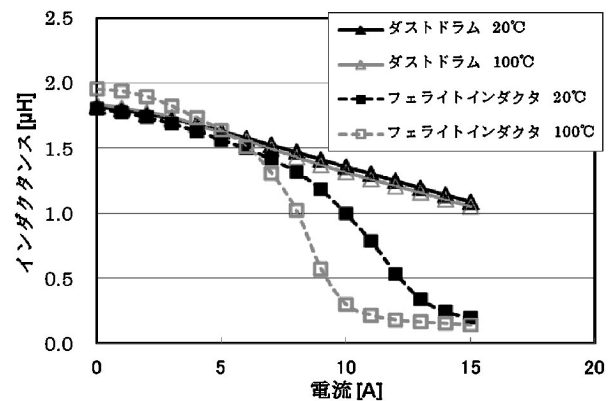


図4 直流重畳特性.

さみ込む構造の「TCH シリーズ」(図3(b))である.

「TCM シリーズ」は, 巻線が容易なため高インダクタンス向けで, 「TCH シリーズ」は平角線を使用することで抵抗を低く抑えられるため大電流向きである.

4. 開発したインダクタの特徴

(1) 直流重畳特性

飽和磁束密度の高い Fe-Si-Al 合金粉末を採用したことで, 大電流時に急激なインダクタンスの低下が起こらない直流重畳特性を実現している. 従って, DC-DC コンバータで過電流が流れても極端な特性劣化が起こりにくい特徴がある.

Fe-Si-Al 合金は温度特性に優れており, 高温環境下でもインダクタンスの変化が小さく安定した性能が得られる.

図4の通り, ダストドラムコイルは $20^{\circ}C$ と $100^{\circ}C$ の環境温度ではほぼ同等の直流重畳特性を示す. 一方, フェライトインダクタの場合は, $100^{\circ}C$ 以上の高温環境下になると低電流域から飽和に伴うインダクタンスの急激な低下を示す⁽²⁾.

(2) エージング特性

近年, 大電流に対応するためアモルファスや金属ガラスを用いた一体成形型インダクタが出てきている. しかし, 一体成形型インダクタは, 磁性粉末に絶縁用の樹脂を大量に混合した材料と空芯コイルとを一緒に加圧成形するため, 空芯コイルが磁性粉末と大量の樹脂で固められた構造となる. そのため, 基板実装して繰り返し使用していると樹脂の径時変化や磁性粉末の磁歪などの影響を受けてインダクタの特性劣化

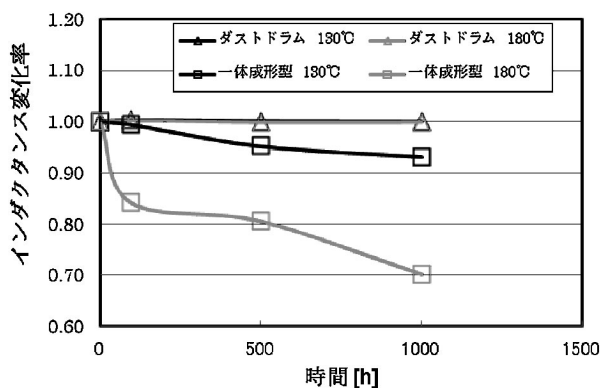


図5 エージング特性.

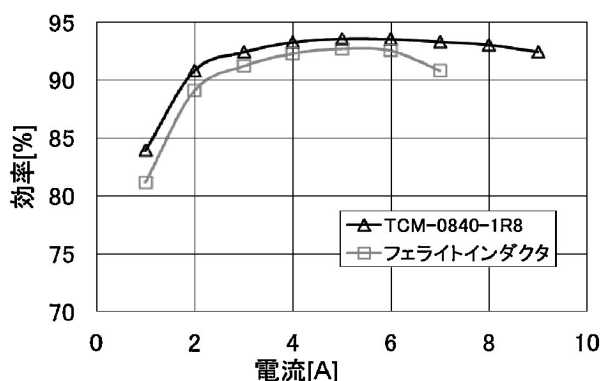


図6 電圧変換効率特性.

が起こる場合がある。

高温環境下での使用を想定して、特性劣化を確認するため130℃と180℃においてエージング試験を行った。試料には、ダストドラムコイルと一般的な一体成型型インダクタを用いた。図5に試験結果を示す。ダストドラムコイルにおいては、特性劣化が起きないことが分かる。高温環境下において非常に適したインダクタといえる。

(3) 電圧変換効率

材料開発に加え SMD インダクタの設計についても最適化を進めたことで、一般的なフェライトインダクタと比較して電源回路の電圧変換効率を改善することができた。

ここでは、DC-DC コンバータにダストドラムコイルとフェライトインダクタを実装した時の電圧変換効率特性を示す(図6)。表2に測定試料のスペックを示す。

表2 測定試料.

	寸 法 [mm]	L [μH]	直流抵抗 [mΩ]
TCM-0840-1R8(開発品)	8.0×8.4×4.0	1.8	9.3
フェライトインダクタ	8.3×8.3×4.0	1.8	13

ダストドラムコイルは、設計を最適化したことで低直流抵抗(DCR)を実現している。そのため直流抵抗の損失が支配的になる高負荷電流域で高効率化を実現している。また、コアロスの影響が顕著に現れる低負荷電流域においても高効率化を実現している。

5. ま と め

これまで、困難であった Fe-Si-Al 合金粉末の高絶縁化と小型インダクタ向けのコア成形といった課題を克服し、従来にない新しいタイプの SMD インダクタを開発した。新たに開発したダストドラムコイルは、DC-DC コンバータの小型化、高性能化および高信頼性に大きく寄与できると確信する。さらに、高耐熱性を活かして高温となるエンジンルームで使用される車載や更に使用環境の厳しい航空宇宙への適用が期待される。

6. 特 許

本技術に関する特許は、すでに1件特許査定⁽⁵⁾されている。また、国際出願もしており、現在 WO2008/136383, WO2009/128427などを公開している。また、関連する特許も複数出願している。

文 献

- (1) 中野心哉:「パワーインダクタの技術動向」, 電波新聞ハイテクノロジー, 電波新聞社, **1191**, 4 June (2009).
- (2) E. Otsuki, K. Ishii and S. Nakano: "SMD Inductors Based on Soft-Magnetic Powder Compacts", APEC 2010, 22-25 Feb (2010), 74-78.
- (3) E. Otsuki, Y. Matsumoto, T. Nakazawa and S. Nakano: "Power Loss Analysis of SMD Power Inductors", APEC2011, 6-10 March (2011), 1687-1691.
- (4) WO 2009/128427.
- (5) 特開2008-277374(特許査定).