

未来社会創造事業 探索加速型
「地球規模課題である低炭素社会の実現」領域
終了報告書(探索研究期間)

令和3年度
研究開発終了報告書

平成 29 年度採択研究開発代表者

[研究開発代表者名:佐藤 敏郎]

[国立大学法人信州大学 学術研究院 工学系・教授]

[研究開発課題名:100MHz スイッチング電源用磁心材料開発]

実施期間 : 平成 29 年 11 月 1 日～令和 4 年 3 月 31 日

§ 1. 研究実施体制

(1)「信州大学」グループ

- ①研究開発代表者:佐藤 敏郎(信州大学学術研究院工学系, 教授)
- ②研究項目(1)「超高周波電力用磁心材料の開発」
 - ・Beyond MHz 帯鉄系コンポジット磁心材料の作製技術の確立, 材料試作と評価
 - ・コンポジット磁心プレーナインダクタ, トランスの試作と評価
 - ・電源モジュール回路方式の検討, CMOS 制御コントローラ的设计・試作(阪大 G と連携)
 - ・スイッチング電源モジュールへの実装による開発磁心材料の有用性を実証(阪大 G と連携)

(2)「大阪大学」グループ

- ①主たる共同研究者:舟木 剛(大阪大学大学院工学研究科, 教授)
- ②研究項目(2)「100MHz スwitching電源モジュールの基盤技術開発」
 - ・共振ソフトスイッチングコンバータ回路の検討(信大 G と連携)
 - ・低 EMI 技術/部品実装の検討(信大 G と連携)
 - ・スイッチング電源モジュールプロトタイプ(10MHz~20MHz)の試作と評価(信大 G と連携)

§ 2. 研究実施の概要

1. 研究項目(1)「超高周波電力用磁心材料の開発」

◆目的; Beyond MHz 帯磁心材料のベンチマークである Ni-Zn フェライトを凌駕する低損失と耐熱性(1/2 以下の鉄損, 200°Cの耐熱性)を有する超高周波鉄系コンポジット磁心材料を開発し, プレーナ磁気デバイスの試作と評価をとおして新規磁心材料の有用性を実証する。

◆主要な成果

(1) 高透磁率鉄系扁平粉末積層コンポジット磁心材料; 等方性鉄系ナノ結晶扁平磁性粉末積層コンポジット磁心材料は作製条件によって磁心の磁気特性を制御でき, 高透磁率条件で作製した磁心は従来のセンダスト(Fe-Al-Si)扁平粉末積層コンポジットシート磁心に対し 3 倍近い透磁率 500 を実現した。また, Beyond MHz 帯低鉄損条件で作製した磁心はセンダスト扁平粉末積層コンポジットシート磁心の 1/4, Ni-Zn フェライトに対しても 1/5 の Beyond MHz 帯低鉄損特性を実現した。

次々世代磁心材料として回転磁化モードを利用する異方性鉄系ナノ結晶扁平粉末積層コンポジット磁心材料の基盤技術を開発した。ナノ結晶合金組成の Fe の一部を 1at.%以上の Pd で置換することで発現する誘導磁気異方性により回転磁化の強磁性共鳴周波数を 1GHz 以上に高周波化でき, 100MHz スwitching電源用磁心材料としての実現可能性が示された。

(2) 低透磁率(恒透磁率)鉄系微細球形粉末コンポジット磁心材料; 数 μm 径鉄系ナノ結晶球形粉末コンポジット磁心は比透磁率 10 で 100MHz まで一定であり, Ni-Zn フェライトに対して 1/12 の Beyond MHz 帯超低鉄損特性を実現した。また, 耐熱樹脂バインダによる 200°C耐熱性と Ni-Zn フェライトで危惧される 100°C以上の熱暴走リスクがないことを実証した。

(3) 開発磁心を用いたプレーナインダクタは Beyond MHz 帯においてこれまでにない高 Q 化(例えば, $Q=135@15\text{MHz}$, $105@20\text{MHz}$)を達成した。プレーナトランスでは巻線導体の交流抵抗増加を抑制する磁束経路制御技術を導入し, 10~20MHz における伝送効率 98%を達成した。

2. 研究項目(2)「100MHzスイッチング電源モジュールの基盤技術開発」

◆目的;プレーナ磁気デバイスを実装した Beyond MHz コンバータプロトタイプを試作・評価,ならびに回路制御方式,共振コンバータ,低ノイズ化などの将来の 100MHz スwitching電源モジュールの基盤技術を開発する。

◆主要な成果

(1) コンバータ回路制御方式として主スイッチ GaN パワーデバイスのゲートドライバ,主スイッチのアダプティブオン(オフ)タイム制御,補助インダクタによるハイサイドスイッチのゼロ電圧(ZVS)スイッチング,さらには共振コンバータ 2 次側同期整流法などを提案し,CMOS コントローラチップの試作と GaN パワーデバイス電源モジュールへの実装評価を行い, Beyond MHz コンバータ回路制御方式の基盤技術を開発した。

(2) 開発磁心プレーナインダクタを三次元実装した USB PD 用 24V 入力-15V・4A(60W)出力 Beyond MHz ハードスイッチング GaN パワーデバイス Buck コンバータプロトタイプを試作し,5MHz 動作で最高効率 94%,定格電力密度 21W/cm³を達成した。また,二相 Buck コンバータモジュールプロトタイプを試作し,24V 入力-20V・2A(40W)出力で効率 95%,電力密度 53W/cm³を達成した。

(3)開発磁心プレーナトランスを実装したサーバ電源用 48V 入力-12V・8.5A(102W)出力 Beyond MHz スwitching LLC 共振コンバータプロトタイプを試作し,定格 102W 出力で効率 90,7%,電力密度 12.6W/cm³を達成した。二次側同期整流の採用とプレーナトランスの三次元実装により 95%の効率と 20W/cm³の電力密度は十分に達成可能である。

(4) 高周波高損失性扁平磁性粉末積層コンポジット磁心とチップキャパシタを用いて試作したプレーナ型 L-C-L 伝導ノイズフィルタを GaN パワーデバイス 10MHz ハードスイッチングコンバータに適用し,数百 MHz 帯のノイズ成分を有する出力電圧スパイクノイズを 1/60 に低減できることを実証した。同様の技術をプレーナ型広帯域コモンモードチョークにも適用した。これらのフィルタは回路基板への内蔵が可能であり,パワーエレクトロニクス用の低 EMI 回路基板として期待できる。

3. 主要な原著論文

(1) Takanobu Fukuoka *et al.*, Proc. of 34th APEC 2019, pp.1561-1566, Anaheim, CA, USA, 2019.

(2) K. Shimura *et al.*, *Energy Reports*, vol.6, pp.491-496, 2020.

(3) K. Shimura *et al.*, *IEEE Trans. Magn.*, vol.57, No.11, 9 pages, 2021.