

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H02127

研究課題名（和文）Beyond MHz帯電力用扁平磁性粉末積層コンポジット磁心材料の磁化機構の解明

研究課題名（英文）Investigation of magnetization mechanism in the flake composite magnetic core materials for beyond MHz frequency

研究代表者

佐藤 敏郎（Sato, Toshiro）

信州大学・学術研究院工学系・教授

研究者番号：50283239

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,900,000円

研究成果の概要（和文）：Beyond MHz磁心のベンチマークであるNi-Znフェライトを凌駕する高透磁率、低損失特性が期待できる扁平粉末積層コンポジット磁心を作製し、様々な磁気特性評価をとおして高周波磁化機構を考察するとともに、コンポジット磁心に対して低保磁力、低鉄損特性を得るための諸条件を明らかにした。さらに、試作開発したFe系ナノ結晶扁平粉末積層コンポジット磁心を用いてBeyond MHz帯スイッチング電源用プレーナノイズフィルタやBeyond 10MHzスイッチングDC-DCコンバータ用プレーナパワーインダクタを試作し、本研究によって試作されたFe系ナノ結晶扁平粉末積層コンポジット磁心の有用性を実証した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

GaNパワーデバイスの登場によってDC-DCコンバータのスイッチング周波数をMHz以上に高周波化して電源システムの超小型化を実現しようという取り組みが活発になっているが、MHz以上の周波数帯のインダクタ・トランス用磁心材料は熱暴走リスクを持つNi-Znフェライトしか選択肢がない。本研究ではFe系ナノ結晶扁平粉末積層コンポジット磁心を作製し、高周波磁化機構の解明と材料の試作・評価をとおしてNi-Znフェライトを凌駕する低鉄損特性を実現した。本研究の成果は超高周波電力用磁性材料という新たな学術分野を開拓するとともに超小型軽量高効率次世代電源システムの実現に貢献するものと期待される。

研究成果の概要（英文）：Beyond MHz switching scheme using GaN power device is very effective to realize compact and lightweight DC-DC converter because of utilization of smaller inductor and transformer. Although the possible magnetic core for beyond MHz frequency is Ni-Zn ferrite only, it has a serious issue on the thermal runaway risk. The flake powder composite magnetic core is one of the strong candidates for beyond MHz inductor and transformer. In this study, Fe-Si-B-Nb-Cu nanocrystalline flake powder composite magnetic core was fabricated and clarified high-frequency magnetization mechanism. The composite magnetic core fabricated through a novel fabrication procedure for obtaining lower coercive force and smaller iron loss exhibited an iron loss of 1/6 at beyond MHz compared with the Ni-Zn ferrite. In addition, the planar magnetic devices were fabricated using the composited magnetic core and demonstrated to be effective through applying them to GaN-FET switch beyond 10MHz switching DC-DC converter.

研究分野：高周波電力用磁性材料工学

キーワード：高周波電力用磁性材料 ナノ結晶合金磁性材料 扁平粉末コンポジット インダクタ/トランス Beyond MHz パワーエレクトロニクス

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）；

1. 研究開始当初の背景

電源システムの飛躍的な小型軽量化を目的に、Beyond MHz で動作する超高速スイッチング DC-DC コンバータの研究開発が国内外の研究機関を中心に活発化している。しかしながら、MHz 帯以上の高周波電力用インダクタ/トランス用磁心材料としては、飽和磁束密度が低く、80°C以上の温度で熱暴走する Ni-Zn フェライトしか選択肢がないのが現状であり、超高速スイッチング DC-DC コンバータの実現の大きな課題になっている。

2. 研究の目的

本研究では、Beyond MHz 帯において高透磁率と低損失を両立し、熱暴走リスクの少ない有力な候補材料として期待される扁平金属磁性粉末積層コンポジット磁心材料を対象に、扁平粉末の磁化特性や磁気構造観察、扁平粉末積層コンポジット磁心材料の透磁率や鉄損などの磁気特性評価をとおして Beyond MHz 帯磁化機構を解明する。これらの知見をもとに磁心材料の開発指針を整理し、Ni-Zn フェライトをベンチマークに^①、材料試作と評価によって本研究の有用性を実証する。

3. 研究の方法

(1) 扁平磁性粉末と扁平粉末積層コンポジット磁心作製プロセスの検討

Fe 系ナノ結晶合金組成急冷アモルファス薄帯を出発とする扁平粉末作製法を検討するとともに、これらの粉末を積層したコンポジット磁心の作製法を確立する。

(2) 扁平磁性粉末と扁平粉末積層コンポジット磁心の磁気特性評価と磁化機構に関する考察

ナノ結晶化した Fe 系ナノ結晶扁平粉末単体の複素透磁率を評価し、さらに Fe 系ナノ結晶扁平粉末積層コンポジット磁心材料の透磁率やコアロスなどの磁気特性と比較することで当該コンポジット磁心材料の Beyond MHz 帯の磁化機構を考察する。

(3) 扁平粉末積層コンポジット磁心の磁気デバイスへの応用

Fe 系ナノ結晶扁平粉末積層コンポジット磁心の Beyond MHz 帯への具体的な応用として、高周波低損失性を利用したインダクタや高周波高損失性を利用したスイッチング電源用ノイズフィルタを試作・評価し、本研究で実現した Fe 系ナノ結晶扁平粉末積層コンポジット磁心の有用性を実証する。

4. 研究成果

(1) 扁平磁性粉末と扁平粉末積層コンポジット磁心作製プロセスの検討

扁平磁性粉末と扁平粉末積層コンポジット磁心の作製、ならびに磁気デバイスへの応用に関する先行研究では、室温付近で結晶磁気異方性と磁歪定数がゼロとなって低保磁力、高透磁率が期待できる Fe-Al-Si 系合金（センダスト）の採用がほとんどであった^②。しかしながら、多結晶系による扁平加工の容易さの利点はあるものの、扁平加工によって結晶粒径が数 μm に微細化することによって磁壁ピンニングの原因となる結晶粒界が大幅に増加して保磁力が 300 A/m (3.8 Oe) 程度に大きくなる課題があった。

本研究では、結晶磁気異方性の消失と 1ppm オーダーの低磁歪によって低保磁力化が期待できる Fe 系ナノ結晶合金に着目し、Fe-Si-B-Nb-Cu 系急冷アモルファス薄帯を出発として扁平粉末を得る方法を検討するとともに、最終形態である扁平粉末積層コンポジット磁心の低保磁力化を目的とする磁心作製プロセスを開発した。

図 1 は Fe-Si-B-Nb-Cu 系 FINEMET 組成急冷アモルファス薄帯を出発として Fe-Si-B-Nb-Cu 系アモルファス扁平粉末を得る方法を示すものである。急冷直後のアモルファス薄帯は延性・展性を有するため、急冷薄帯から直接扁平粉末を得ることは困難であり、扁平加工前に脆化熱処理と振動ミルによる粗粉碎、さらにアトライタミルによる扁平加工を行った。Beyond MHz への応用を鑑み、うず電流損の低減を目的として扁平粉末の厚さは 1~3 μm に設定した。得られた Fe-Si-B-Nb-Cu 系アモルファス扁平粉末を三段階のフットプリントサイズで分級した後、515°C・Ar 雰囲気中でナノ結晶化熱処理した扁平粉末の保磁力はフットプリントサイズに依存し、100~150 μm サイズでは保磁力が 40 A/m (0.5 Oe) となり、従来のセンダスト系扁平粉末に対して 1/6 の低保磁力化を達成した。ナノ結晶化前のアモルファス扁平粉末は 4~4.8 kA/m (55~60 Oe) の大きな保磁力を有することから、粗粉碎や扁平加工で蓄積された内部歪みがナノ結晶化高温熱処理によって開放されたことが保磁力の大幅な低減に繋がったものと考えられる。しかしながら、ナノ結晶化した扁平粉末を採用して扁平粉末積層コンポジット磁心を作製した場合、磁心の作製工程で再び内部歪みが蓄積されるために最終磁心の保磁力は出発扁平粉末の数倍に増加する問題が新たに発生した。

図 2 は新規に開発した Fe-Si-B-Nb-Cu 系ナノ結晶扁平粉末積層コンポジット磁心の作製方法を示すものであり、本方法は出発素材にナノ結晶化前の 100~150 μm サイズアモルファス扁平粉末を採用し、扁平粉末作製と磁心作製工程で蓄積する内部歪みをポスト高温ナノ結晶化熱処理によって一気に開放し低保磁力化するという着想に基づくものである。アモルファス扁平粉末とシリコーン樹脂前駆体溶液による混合ペーストを作製した後、メタルマスク印刷でシート成形し、複数シートを低温ホットプレスで加圧成形することで扁平粉末を水平方向に配向し、

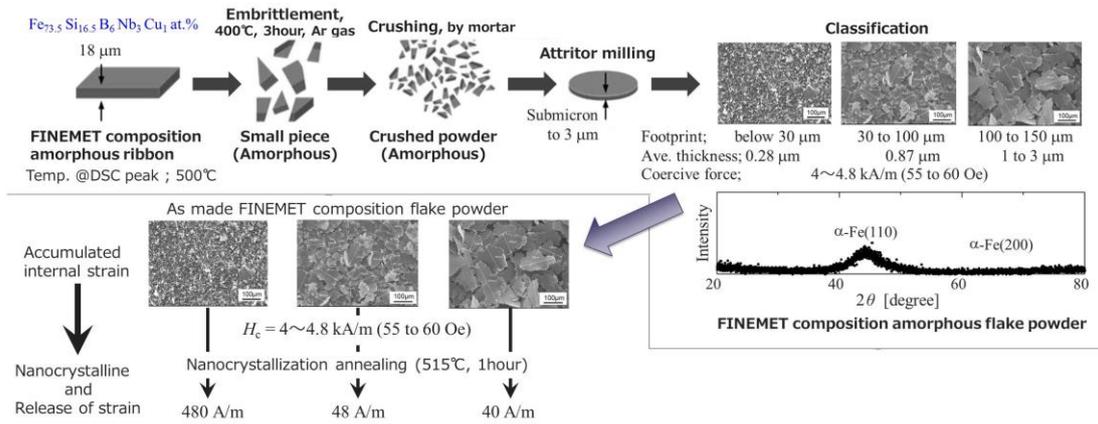


図1 Fe-Si-B-Nb-Cu組成ナノ結晶扁平粉末の作製方法

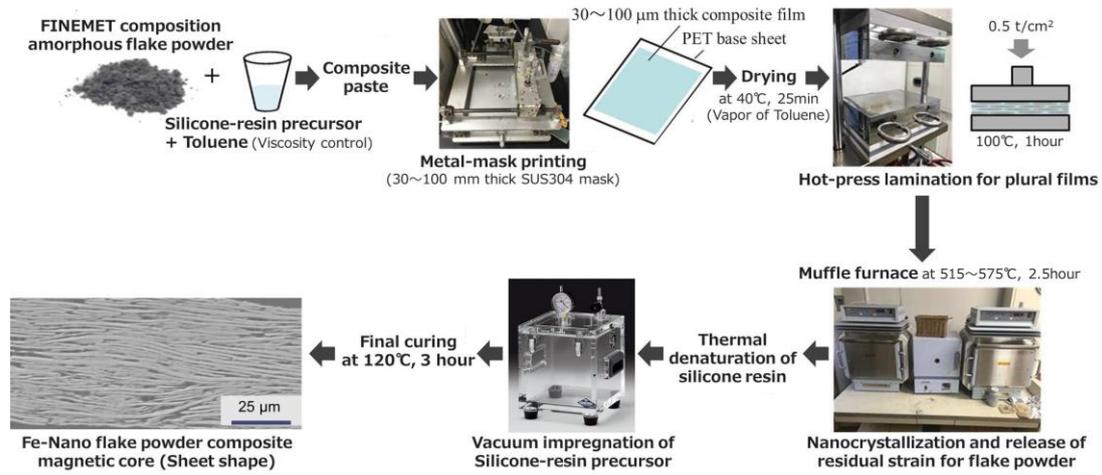


図2 Fe-Si-B-Nb-Cu組成ナノ結晶扁平粉末積層コンポジット磁心の作製方法

垂直方向に積層する。その後、515~575°Cの間の5通りの高温ナノ結晶化熱処理した。バインダ樹脂に採用したシリコンは500°C以上でシリカ前駆体に変性して硬く脆くなるため、最後にシリコンを真空含浸、硬化して最終磁心とした。

図3はFe-Si-B-Nb-Cu組成ナノ結晶扁平粉末積層コンポジット磁心のポスト高温ナノ結晶化熱処理温度と飽和磁化、保磁力の関係を示すものであり、飽和磁化は530°C熱処理を除き、概ね0.4~0.5Tであった。保磁力は熱処理温度の上昇に対して単調に増加し、Fe-Siナノ結晶粒の粒成長とNb-Bリッチマトリックスとの正負磁歪キャンセルのアンバランスが理由であると推定される。ナノ結晶化熱処理温度530°C以下では80A/m (1 Oe) 以下の低保磁力特性を示し、Beyond MHz帯磁心のベンチマークであるNi-Znフェライトの保磁力がおおよそ300 A/m以上であることを考慮すると^③、試作したFe-Si-B-Nb-Cu組成ナノ結晶扁平粉末積層コンポジット磁心はNi-Znフェライトと同等以下の低保磁力であることが明らかとなった。

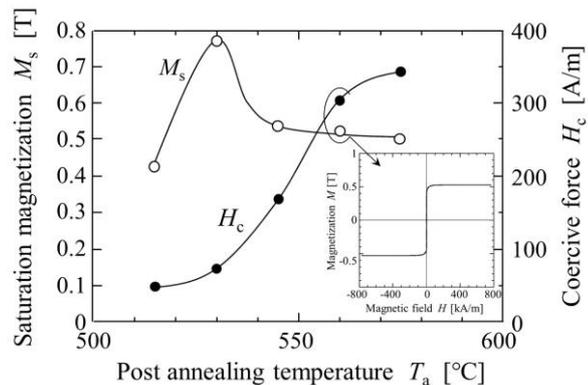


図3 Fe-Si-B-Nb-Cu組成ナノ結晶扁平粉末積層コンポジット磁心のポスト高温ナノ結晶化熱処理温度と飽和磁化、保磁力の関係

(2) 扁平磁性粉末と扁平粉末積層コンポジット磁心の磁化機構に関する考察

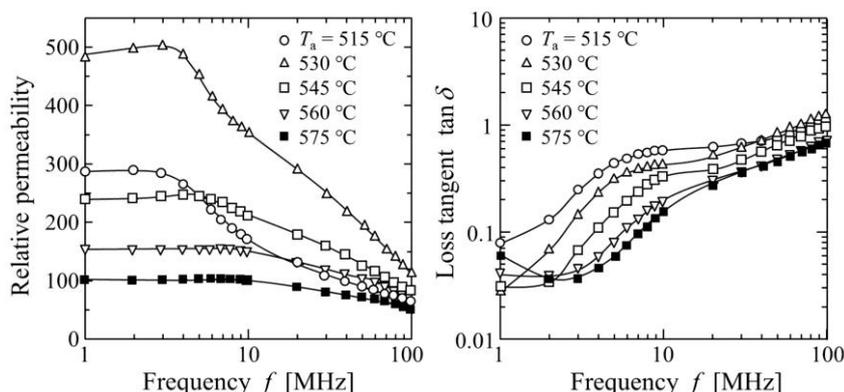
図4は515~575°Cの範囲の5通りの高温ナノ結晶化熱処理したFe-Si-B-Nb-Cu組成ナノ結晶扁平粉末積層コンポジット磁心の比透磁率と損失係数tan δ、ならびに鉄損の周波数特性を示すものである。

図4(a)において、530°C熱処理試料は500に近い高い比透磁率を示すものの5MHzを境に急激に透磁率が低下し、損失係数tan δも大きい。この試料は3MHz付近に透磁率のピークを示すことから、磁

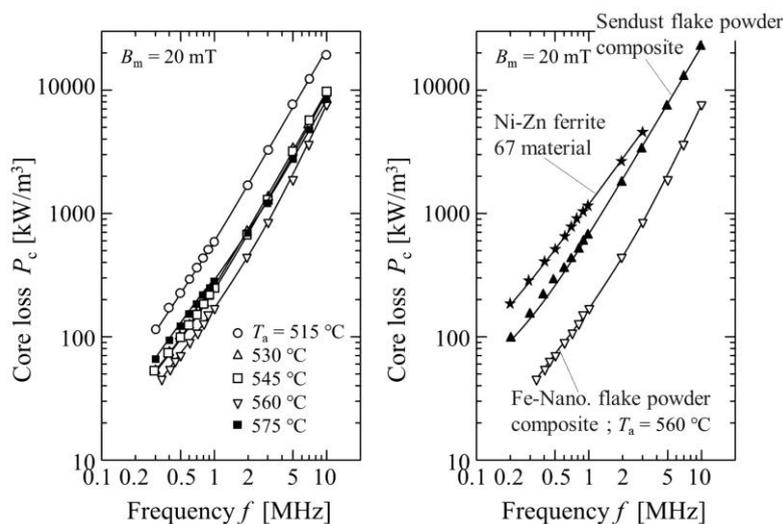
壁移動の共鳴現象が原因である可能性がある。ここでは詳述しないが、ナノ結晶化した扁平粉末の磁区構造観察から、磁壁運動の共鳴周波数が MHz 帯に存在するのは $10\ \mu\text{m}$ 以下の微細磁区に起因するものと推定された。一方、 560°C 、 575°C の熱処理試料は、それぞれ、比透磁率が 160、100 に低下するものの、10MHz 以上での透磁率の低下は小さく、損失係数 $\tan\delta$ も小さいことが分かる。ナノ結晶化熱処理温度と透磁率の関係は、保磁力の場合と同様に、Fe-Si 結晶粒サイズならびに磁歪定数が関係しているものと考えられる。

図 4 (b)の鉄損の周波数特性では 560°C 熱処理試料が最も鉄損が小さく、ベンチマークである Ni-Zn フェライト (Fair Rite 社、67 material[®]) に対して MHz 帯鉄損は約 1/6、センダスト扁平粉末積層コンポジット磁心に対しても約 1/3 の低鉄損特性を達成した。

図 5 は Fe-Si-B-Nb-Cu 組成ナノ結晶扁平粉末積層コンポジット磁心の高周波磁化機構をさらに深く考察するため、産総研の協力を得て、Fe-Si-B-Nb-Cu 組成ナノ結晶扁平粉末単体の複素磁化率を評価した結果を示すものである。ナノ結晶化後の保磁力が小さい $100\ \mu\text{m}$ サイズ粉末をサンプリングし、コンポジット磁心の鉄損が最も小さくなる 560°C ナノ結晶化熱処理を行って被測定扁平粉末を用意した。測定に供した扁平粉末単体の面積、厚さを正確に評価することは困難であり、また、開磁路測定における反磁界効果の影響もあり、比透磁率の値は目安を与えるものと解釈する必要がある。直流バイアス磁界 H_{dc} は一方向異方性を誘導するために印加しており、交流磁化率は H_{dc} と直交する方向の磁化困難軸方向で評価した。 H_{dc} を印加しない場合、数 MHz~100MHz の範囲で周波数が高くなると磁化率の実数部は漸減し、損失項である磁化率の虚部は 100MHz を境に急増し、数 GHz で最大となる。100MHz~10GHz にわたる損失項はうず電流損によるものに加え、反磁界による強磁性共鳴吸収の両方が寄与している。 H_{dc} が大きくなると、磁化率は低くなり、共鳴周波数が高周波側にシフトし、典型的な軟磁性材料の振る舞いを示す。扁平粉末積層コンポジット磁心は扁平粉末を水平方向に配向し、垂直方向に積層する構造を有するので、個々の扁平粉末の反磁界が大きく低減して磁心透磁率が高くなる。また、反磁界効果の減少によって強磁性共鳴周波数が大幅に低下すると予想され、扁平粉末積層コンポジット磁心の透磁率、損失係数 $\tan\delta$ の周波数特性と定性的に一致する。



(a) 比透磁率と損失係数 $\tan\delta$



(b) 鉄損

図 4 515~575°Cの範囲の5通りの高温ナノ結晶化熱処理したFe-Si-B-Nb-Cu組成ナノ結晶扁平粉末積層コンポジット磁心の比透磁率と損失係数 $\tan\delta$ 、ならびに鉄損の周波数特性

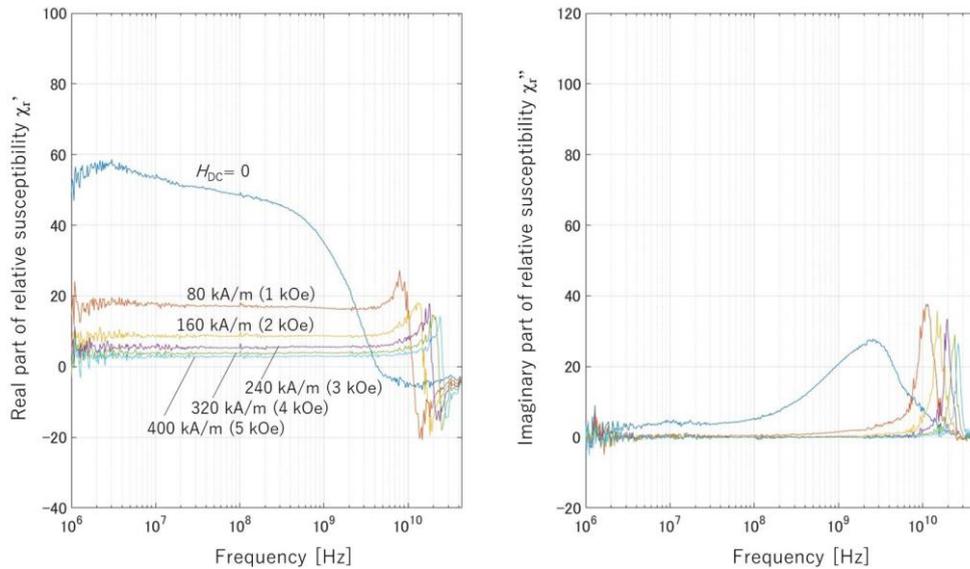


図5 560°Cナノ結晶化熱処理した100 μmサイズFe-Si-B-Nb-Cu組成ナノ結晶扁平粉末単体の複素磁化率の周波数特性

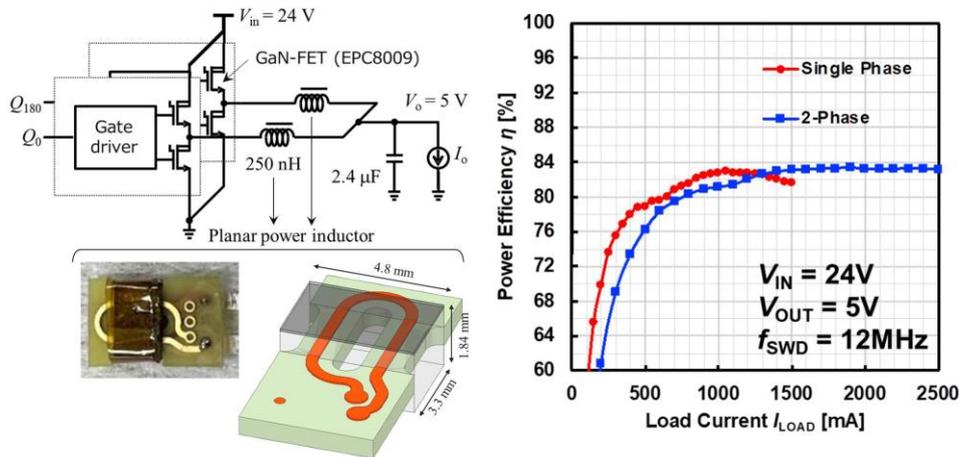


図6 扁平粉末積層コンポジット磁心の磁気デバイスへの応用（扁平粉末積層コンポジット磁心の高周波低損失性を利用したBeyond 10MHz帯プレーナパワーインダクタの試作例

(3) 扁平粉末積層コンポジット磁心の磁気デバイスへの応用

図4(a)で示したように、試作開発した扁平粉末積層コンポジット磁心はナノ結晶化温度によって高周波低損失性、高周波高損失性の両方の特性を発現できることが明らかとなった。これらの有用性を実証する目的で、扁平粉末積層コンポジット磁心の高周波低損失性を利用したBeyond 10MHz帯プレーナパワーインダクタと高周波高損失性を利用したプレーナノイズフィルタを試作し、実際にBeyond 10MHzスイッチングDC-DCコンバータに適用した。

図6はプレーナパワーインダクタの試作例を示すもので^④、試作インダクタはインダクタンス; 250 nH、3~15MHzにおいて40以上の高いQ値を有し、24V入力-5V・3A出力 GaN-FET同期整流 12MHzスイッチング二相DC-DCコンバータに適用した結果、12.5W出力で約84%の高い効率が得られることを実証した(図6参照)。

(4) その他

Fe-Si-B-Nb-Cu組成のFeの一部をCo-Pdで置換した急冷薄帯を試作し、磁場中ナノ結晶化熱処理によって一軸磁気異方性が発現することが確認され、扁平粉末積層コンポジット磁心のうず電流損失の大幅な抑制が期待される異方性化についても目途をつけた^⑤。

<引用文献>

- ① A. J. Hanson et al., IEEE Trans. Power Electron., vol. 31, no. 11, 7909 (2016).
- ② <https://www.sanyo-steel.co.jp/product/selected/images/pdf04.pdf>
- ③ https://product.tdk.com/system/files/dam/doc/product/ferrite/ferrite/ferrite-core/material/withdraw_ferrite_ni-zn_material_gt3_ja.pdf
- ④ R. Miyata et al., INTERMAG2023, AR-06, Sendai, Japan, May 2023.
- ⑤ T. Sato et al., INTERMAG2023, HA-04 (Invited), Sendai, Japan, May 2023.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 小池 航太, 金谷 孝紀, 多田 智哉, 曾根原 誠, 南澤 俊孝, 佐藤 敏郎	4. 巻 MAG-21-129
2. 論文標題 Fe系ナノ結晶合金扁平粉末積層シート磁心の磁気特性とナノ結晶化熱処理温度依存性	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会マグネティックス研究会資料	6. 最初と最後の頁 39-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 宮地幸佑, 曾根原誠, 佐藤敏郎	4. 巻 15
2. 論文標題 磁気デバイスと集積回路のヘテロジニアス三次元実装システム	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本磁気学会報 “まぐね”	6. 最初と最後の頁 158-166
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 佐藤敏郎	4. 巻 15巻
2. 論文標題 高周波電力用軟磁性磁心材料の損失発生機構	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本磁気学会報 “まぐね”	6. 最初と最後の頁 223-231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yuan Ying, Yutaro Inagaki, Ryu Nomata, Makoto Sonehara, and Toshiro Sato	4. 巻 MAG-21
2. 論文標題 Fabrication of Fe-based soft magnetic flake powders for flake-composite magnetic sheet core	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会マグネティックス研究会資料	6. 最初と最後の頁 17-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 梶原あさみ, 南澤俊孝, 曾根原 誠, 佐藤敏郎	4. 巻 MAG-21
2. 論文標題 Beyond MHzハードスイッチングDC-DCコンバータ用伝導ノイズフィルタの試作	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 電気学会マグネティックス研究会資料	6. 最初と最後の頁 59-64
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 川原翔太, 稲本恭兵, 山本達也, 金野泰之, ト 穎剛, 佐藤敏郎, 水野 勉	4. 巻 27
2. 論文標題 インダクタキャンセル方式を用いた磁性コンポジット材料の鉄損測定に関する検討	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本AEM学会誌	6. 最初と最後の頁 239-244
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14243/jsaem.27.239	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 佐藤敏郎, 水野勉	4. 巻 17
2. 論文標題 トピックス MHz帯スイッチング電源用インダクタ, トランスの開発, 特集; パワーエレクトロニクスの動向	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本磁気学会報 “まぐね”	6. 最初と最後の頁 142-148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 川田奈波, 大山秀樹, 南澤俊孝, 曾根原誠, 佐藤敏郎	4. 巻 7巻
2. 論文標題 倍電流整流回路を用いたLLC共振コンバータ用結合インダクタの作製	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本磁気学会論文特集号	6. 最初と最後の頁 80-84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20819/msj tmsj .23TR510	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 宮田涼平, 木村創一, 川田奈波, 南澤俊孝, 曾根原誠, 佐藤敏郎	4. 巻 MAG-23-009
2. 論文標題 Fe系メタルコンポジット磁心を用いたBeyond 10MHzプレーナパワーインダクタの試作	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 電気学会マグネティックス研究会資料	6. 最初と最後の頁 45-50
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 川崎淳, 志村和大, 川田奈波, 佐藤敏郎, 佐藤光秀, 水野勉, 宮地幸祐	4. 巻 MAG-22-047
2. 論文標題 Fe系ナノ結晶扁平粉末とFe系アモルファス球形粉末を用いた10MHz帯絶縁プレーナトランスの検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 電気学会マグネティックス研究会資料	6. 最初と最後の頁 5-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 5件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 小池 航太, 金谷 孝紀, 多田 智哉, 佐藤 敏郎, 曾根原 誠
2. 発表標題 ナノ結晶合金扁平粉末積層シート磁心の低保磁力化にむけた作製工程の検討
3. 学会等名 電気学会基礎・材料・共通(A)部門大会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Soichi Kimura, Makoto Sonehara, Toshiro Sato
2. 発表標題 Basic investigation of planar power inductor for 15MHz switching DC-DC converter
3. 学会等名 IEEE Shin-etsu Section Student Branch (SSB) Online Poster Session 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Eiichi Yoshida, Makoto Sonehara, Toshiro Sato
2. 発表標題 Basic investigation of coupled-line EMI filter for beyond-MHz switching power supplies using high permeability and high loss magnetic material
3. 学会等名 IEEE Shin-etsu Section Student Branch (SSB) Online Poster Session 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村 創一, 川田 奈波, 宮田 涼平, 佐藤 敏郎, 曾根原 誠
2. 発表標題 15MHzスイッチングDC-DCコンバータ用プレーナパワーインダクタの試作と評価
3. 学会等名 電気学会東海支部学生発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田 詠一, 古市 航, 南澤 俊孝, 曾根原 誠, 佐藤 敏郎
2. 発表標題 Beyond MHzスイッチング電源用EMIフィルタの基礎検討
3. 学会等名 電気学会東海支部学生発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yuan Ying, Yutaro Inagaki, Ryu Nomata, Makoto Sonehara, Toshiro Sato
2. 発表標題 Fabrication of Fe-based soft magnetic flake powders for flake-composite magnetic sheet core
3. 学会等名 IEEE International Magnetics Conference (INTERMAG2020) (新型コロナウイルス感染症の拡大により中止、ただし、発表扱い) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤敏郎
2. 発表標題 Beyond MHzスイッチング電源における諸課題～電力用磁性材料の視点から～
3. 学会等名 日本磁気学会第13回エネルギーマグネティックス専門研究会（オンライン）（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 佐藤鴻全, 南澤俊孝, 曾根原誠, 佐藤敏郎
2. 発表標題 鉄系メタルコンポジット鉄心リーケージトランスを用いたLLC-LC共振型DC-DCコンバータの試作
3. 学会等名 第44回 日本磁気学会学術講演会（オンライン）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 馬場海帆, 木村創一, 佐藤敏郎, 曾根原誠
2. 発表標題 扁平及び球形磁性粉末コンポジット磁心からなる有機インターポーザ内蔵リーケージトランスの構造検討
3. 学会等名 令和2年度電気学会東海支部主催学生発表会（第1回）（オンライン）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 梶原あさみ, 南澤俊孝, 曾根原誠, 佐藤敏郎
2. 発表標題 電源モジュールにおける伝導ノイズ抑制法の基礎検討
3. 学会等名 令和2年度電気学会東海支部主催学生発表会（第1回）（オンライン）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野間田 竜, 小池航太, 金谷孝紀, 佐藤敏郎, 曾根原 誠
2. 発表標題 高速スイッチング電源用磁心材料に用いる鉄系ナノ結晶扁平粉末の作製と特性評価
3. 学会等名 令和2年度電気学会東海支部主催学生発表会(第2回)(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤敏郎
2. 発表標題 高周波電力用磁心材料の開発
3. 学会等名 磁気エレクトロニクス研究会(主催;長野県テクノ財団,共催;IEEE MAG-33 Shin-etsu Chapter)(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 梶原あさみ, 南澤俊孝, 曾根原 誠, 佐藤敏郎
2. 発表標題 高透磁率・高損失磁性材料を用いたBeyond 10MHz伝導ノイズ抑制フィルタの基礎検討
3. 学会等名 令和3年電気学会全国大会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Toshiro Sato
2. 発表標題 Fe-based Composite Magnetic Core for GaN Power Device Switching Converter
3. 学会等名 International Symposium on Advanced Power Packaging 2019 (ISAPP2019)(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤敏郎, 水野勉, 曾根原誠, 宮地幸祐, 舟木剛
2. 発表標題 Beyond MHz帯電力用磁心材料の開発
3. 学会等名 電気学会マグネティックス研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 稲垣悠太郎, 石田嵩, 白澤智寛, 佐藤敏郎, 曾根原誠
2. 発表標題 MHz帯磁心材料用低磁歪ナノ結晶扁平粉末の作製と特性評価
3. 学会等名 電気学会東海支部学生発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石田嵩, 白澤智寛, 梶原あさみ, 馬場海帆, 佐藤敏郎, 曾根原誠, 宮地幸祐
2. 発表標題 扁平状磁性粉末コンポジットシートを用いた有機インターポーザ内蔵パワーインダクタの基礎検討
3. 学会等名 電気学会東海支部学生発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 白澤智寛, 石田嵩, 馬場海帆, 梶原あさみ, 佐藤敏郎, 曾根原誠, 宮地幸祐
2. 発表標題 扁平状磁性粉末コンポジットシートを用いた有機インターポーザ内蔵トランスの基礎検討
3. 学会等名 電気学会東海支部学生発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石田嵩, 梶原あさみ, 白澤智寛, 佐藤敏郎, 曾根原誠, 宮地幸祐
2. 発表標題 扁平および球形磁性粉末コンポジット磁心からなるハイブリッド磁気回路プレーナパワーインダクタ
3. 学会等名 令和2年電気学会全国大会 (新型コロナウイルス感染症拡大のため大会中止、ただし、発表扱い)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 白澤智寛, 馬場海帆, 石田嵩, 佐藤敏郎, 曾根原誠, 南澤俊孝
2. 発表標題 金属磁性扁平粉末を使用した基板埋込型トランスの結合係数の調整方法
3. 学会等名 令和2年電気学会全国大会 (新型コロナウイルス感染症拡大のため大会中止、ただし、発表扱い)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomoya Tada, Makoto Sonehara, Toshiro Sato
2. 発表標題 Fabrication and evaluation of anisotropic Fe-based nanocrystal alloy ribbons
3. 学会等名 IEEE Shin-etsu Section Student Branch (SSB) Online Poster Session 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川田奈波, 大山秀樹, 南澤俊孝, 曾根原誠, 佐藤敏郎
2. 発表標題 倍電流整流回路用結合インダクタの作製
3. 学会等名 第46回 日本磁気学会 (MSJ) 学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮田涼平, 木村創一, 川田奈波, 南澤俊孝, 曾根原誠, 佐藤敏郎
2. 発表標題 Beyond 10MHz スwitchingDC-DCコンバータ用プレーナパワーインダクタの開発
3. 学会等名 第46回 日本磁気学会 (MSJ) 学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤敏郎
2. 発表標題 Beyond MHz磁心材料の開発とインダクタ/トランスへの適用, ならびにDC-DCコンバータへの実装
3. 学会等名 岩崎コンファレンス, 日本磁気学会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 山口正洋, 佐藤敏郎, 他 (分担執筆)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 電気学会、ISSN 919-9195	5. 総ページ数 76
3. 書名 電気学会技術報告1510号、オンチップRFマグネティックスの研究開発動向	

1. 著者名 直江正幸, 佐藤敏郎, 他 (分担執筆)	4. 発行年 2021年
2. 出版社 電気学会、ISSN 0919-9195	5. 総ページ数 53
3. 書名 電気学会技術報告1508号、スマートデバイス用マグネティックスの研究開発動向	

〔産業財産権〕

〔その他〕

信州大学工学部先端磁気デバイス研究室
https://www.shinshu-u.ac.jp/faculty/engineering/eict/laboratory/cat/post_28/

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	曽根原 誠 (Sonehara Makoto)		研究討論に参加

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------