



東北大学
TOHOKU UNIVERSITY



学校法人トヨタ学園

豊田工業大学

2024年3月26日

報道機関各位

丸嘉工業株式会社
国立大学法人東北大学
学校法人トヨタ学園豊田工業大学

パワーエレクトロニクスに革新的進歩をもたらす 新磁性材料の実現へ

磁気コアの超小型・軽量・低損失化を実現する極薄箔磁性材料を実現

丸嘉工業株式会社は、東北大学電気通信研究所石山和志教授、および豊田工業大学工学部藤崎敬介教授と実施した共同研究により、電気自動車など高周波化が進むパワーエレクトロニクス回路の小型・軽量・低損失化に大きく貢献できる革新的進歩をもたらす新磁性材料の実現を発表しました。

なお、本研究成果は、日本時間 2024 年 3 月 15 日（金）公開の Journal of Magnetism and Magnetic Materials に掲載されました。

発表のポイント

- パワーエレクトロニクス回路に用いる磁気コア材料として鉄に重量比 6.5%の珪素を混ぜた合金 6.5wt%SiFe 合金が適していることが知られていた。
- しかし 6.5wt%SiFe 合金は磁気特性は優れているものの加工が困難であるため磁気コアに加工することは不可能とされてきた。
- 液体急冷法と冷間圧延法を組み合わせた新しい手法により、厚さ 2 ミクロンの超薄箔を実現し、6.5wt%SiFe 合金の磁気コア応用への道筋が開かれた。
- 高周波化が進むパワーエレクトロニクス回路の小型化低損失化に大きく貢献することが期待される。

研究概要

パワーエレクトロニクス技術の世界では半導体の開発に受動素子の高性能化が追いついておらず、高周波特性の優れた磁気コアが存在しないために、小型軽量低損失化の実現が難しくなっていた。磁気コア用磁性材料の中で 6.5wt%Si-Fe 合金が優れた特性を持つことは古くから知られていた。しかし小型軽量を実現するパワーエレクトロニクス回路の MHz 以上の高周波数の動作領域でその優れた特性を発揮するには厚さ数ミクロンの極薄箔にする必要があったが、硬くて脆いという致命的な欠点によりこれまで実現されることはなかった。それに対して丸嘉工業は、液体急冷と冷間圧延という工業生産に適した手法を用いて 2 ミクロンの極薄箔が実現できることを見出した。これは今後の磁性材料開発の世界に一大革命をもたらす技術であり、パワーエレクトロニクス回路の小型軽量高効率化の実現に大きく貢献するものである。



図 1. 液体急冷法により作製した 19 μm 厚の 6.5wt%Si-Fe 合金



図 2. 図 1 に示した材料を冷間圧延して 2 μm 厚とした 6.5wt%Si-Fe 合金

研究背景

6.5wt%SiFe 合金は、磁歪がゼロで結晶磁気異方性も小さいことから透磁率が高く、また飽和磁束密度も大きいことから、磁気コア用材料として優れていることが 1960 年代から知られていた。そのためこれを薄箔に加工し積層して用いることで損失を低減すれば、MHz 以上の高い周波数帯において高透磁率かつ低鉄損の磁気コアが実現可能となる。しかしながらこの合金は硬くて脆いために加工が困難であり、薄い箔に加工することは不可能とされてきた。

これまでパワーエレクトロニクス回路の高周波分野で使用されてきたフェライト材料は磁気特性以外でも熱暴走や衝撃耐久性の点で課題があったが、6.5wt%SiFe 合金は高温動作でも安定であり衝撃耐久性にも優れており、その実用が待たれていた。

今回の取り組み

丸嘉工業株式会社、東北大学、豊田工業大学が実施した共同研究により、液体急冷法と呼ばれる方法で熔融金属を直接 20 ミクロン程度の厚さのリボンにし、さらにこのリボンを冷間圧延することにより 2 ミクロンの厚さにまで薄くできることを見出した。これは、液体急冷法での作成条件を吟味することにより結晶構造を最適化し、それにより圧延加工を可能としたものである。優れた特性を持つ 6.5wt%Si-Fe 合金を超薄箔にできたことにより、特に MHz 以上の周波数で動作するパワーエレクトロニクス回路に用いる受動素子、特にインダクタンス素子の磁気コア用材料として極めて優れた特性を示すことが期待される。現在パワーエレクトロニクス回路の開発では半導体素子の革新が進み、高性能回路の開発では磁気コアの損失がボトルネックと言われており、磁気コアの低損失化が進めば、電気自動車などパワーエレクトロニクス回路の高周波化による小型・軽量・低損失化に大きく貢献できる。

今後の展開

圧延加工という工業的に大量生産可能な手法で新しい材料が実現できたことから、近い将来の実用化が期待される。それにより回路の小型化並びに高効率化が図られ、電気自動車の航続距離延長や充電時間の短縮などが期待されると同時に、ロボットも含めたあらゆるモータ駆動システムを小型・軽量・高効率化して、カーボンニュートラルへ大きく貢献できる。

用語解説

- 透磁率 … 外部から与えた磁界の大きさと磁性体の磁化が変化する量の割合。磁気コアにおいては、透磁率が大きいほどわずかな入力で大きな出力が得られる。
- 磁歪 … 磁性体が動作時に寸法変化を起こすこと。硬い金属を変形させることから大きなエネルギーが必要となり、それは損失となる。
- 結晶磁気異方性…磁性体内部の磁気モーメント（微小磁石）が向きを変えるために必要なエネルギー。結晶磁気異方性が小さいほどモーメントは方向を変えやすいことから透磁率が高くなる。
- 磁気コア … 一般的にはリング状の磁性体。磁気コアに巻線を巻きインダクタンス素子を実現する。素子を小型・低損失にするためには磁気コアの透磁率が高く低損失であることが必要。

論文の詳細情報

タイトル：Production of 2 μ m-thick 6.5 % Si-Fe cold rolled sheet.

著者名：Takuya Uemura*, Junpei Tanase, Keisuke Fujisaki, Kazushi Ishiyama, Eiji Tsuchida

*責任著者：丸嘉工業株式会社 P E 開発部部长(豊田工業大学研究員) 上村卓也

掲載誌：Journal of Magnetism and Magnetic Materials

DOI 番号：<https://doi.org/10.1016/j.jmmm.2024.171840>

特許情報

特開 2023-080874(P2023-80874A))

お問い合わせ先

研究内容に関するお問い合わせ	丸嘉工業株式会社 P E 開発部 部長 上村卓也 (うえむら たくや) 電話：058-382-7171 E-mail：uemura@maru-y.co.jp
	東北大学 電気通信研究所 教授 石山和志 (いしやま かずし) 電話: 022-217-5487 Email: kazushi.ishiyama.d8@tohoku.ac.jp
	豊田工業大学 工学部 教授 藤崎 敬介 (ふじさき けいすけ) 電話：052-809-1826 E-mail：fujisaki@toyota-ti.ac.jp
報道に関するお問い合わせ	丸嘉工業株式会社 P E 開発部部长 上村卓也 電話：058-382-7171 E-mail：uemura@maru-y.co.jp
	東北大学電気通信研究所総務係 TEL: 022-217-5420

Email: riec-somu@grp.tohoku.ac.jp

豊田工業大学 広報・入試室 渉外広報グループ

電話：052-809-1764

E-mail： s-koho@toyota-ti.ac.jp