

柳井 武志

(山口県) 昭和 52 年 10 月 18 日生

授与年月日 平成 17 年 3 月 18 日

主論文 高性能低透磁率コア用ナノ結晶軟磁性材料開発に関する研究

論文内容の要旨

平成 14 年度年経済産業省製造産業局の資料“変圧器の電力損失削減のための革新的磁性材料の開発”によると、2010 年の総発電電力量は 12,110 億 kWh と予想され、そのうち変圧器の鉄損は 136 億 kWh、金額にして 2 千億円と予測されている。また、電力のおよそ半分は電動機で消費される。その駆動用電源内には、昇降圧用トランス磁気コア、エネルギー蓄積インダクタ用磁気コア等、数多くの軟磁性体が用いられており、省電力の観点から、より低損失な軟磁性材料の開発が望まれている。一方、携帯電話に代表されるように、電子機器の小型・高性能化が急速に進行している。このためには、磁性部品にも更なる小型・高性能化が所望され、高い飽和磁化を有する材料の開発が強く望まれている。

本研究では、今後の情報通信機器での電力需要の高まりを踏まえ、電源回路出力部で交流分抑制のために用いられるチョークコイル用磁気コアや小電力エネルギー蓄積用磁気コアに応用される、低透磁率軟磁性材料の研究開発を行った。これらの磁気コアには、高飽和磁化(小型化)、低磁気損失(省エネ、発熱の抑制)、適度な低透磁率(巻き線電流による磁気飽和の抑制)等が主に所望される。加えてスイッチング電源の駆動周波数の増加に対応するために、良好な高周波特性も望まれている。これらの特性を実現するために、本研究では、Fe-Cu-Nb-Si-B 系非晶質薄帯を応力下で結晶化させてナノ結晶組織を形成した際に生じる、クリープ誘導磁気異方性を利用し、低透磁率化を実現すると共に、ナノ結晶組織を作製することで誘導異方性を擾乱する結晶磁気異方性の影響を抑制した。その結果、ナノ結晶組織の形成による軟磁性化と誘導磁気異方性による透磁率制御が同時に実現された。開発した Fe-Cu-Nb-Si-B 系ナノ結晶磁性薄帯にて作製したトロイダルコアは、従来の低透磁率化と低損失化間のトレードオフの関係を打破し、高飽和磁化、低透磁率、低損失値を同時に達成した。本論文は、以上の研究の成果をまとめたもので、6 章から構成されている。

第 1 章では、本研究の背景、意義、目的等を示し、序論とした。

第 2 章では、各章で共通する実験方法を述べた。

第 3 章では、異方性の誘導・緩和過程と結晶化との関係を明確にすることで、小さな印加張力で大きな異方性を得るための条件を検討した。その結果、結晶化過程には、異方性が付与されることなく結晶化が進行する過程と急激な異方性誘導を伴いつつ結晶化が進行する過程が存在し、後者の過程で大きな異方性が誘導されることを明らかにした。また、結晶化の度合いにより異方性の熱緩和量および熱緩和速度が変化することを見だし、実用化に際してより安定な異方性を得るための指針を得た。更に、少ない張力で大きな異方性を得るためには、熱処理時の初期温度および昇温率が重要であることを示した。

第 4 章では、トロイダルコア作製プロセスをより簡素化することを目的に検討を行い、二つの新しい異方性誘導プロセスを開発した。一つ目は試料に直接通電することにより熱処理を施すジュール加熱法、他の一つは、あらかじめ昇温した炉内を張力印加した試料を通過させることで熱処理を施す、応力下連続焼鈍法である。ジュール加熱法においては、0.5 秒という極短時間で異方性誘導を達成し、飛躍的な熱処理時間の短縮を実現した。また、この方法は、連続的に熱処理を施すプロセスへの応用が期待されることを示した。応力下連続焼鈍では、試料の伸びが有効に得られることに着目して検討した。その結果、従来に比べて、伸びを約 1.7 倍程度増加できることを見だし、同じ大きさの異方性を得るために必要な張力値を 30~50 % 低減できた。更に、約 3m/min という高速での異方性付与に成功し、コア作製に必要な長尺のナノ結晶薄帯

を短時間に作製できることを示した。

第5章では、実際にトロイダルコアを作製してその磁気特性を評価した。まず、磁気特性とトロイダル成形時のコア径との関係を検討し、急激に磁気特性が劣化するコア径（以後限界コア径と呼ぶ）を発見した。この限界コア径に対して理論計算を行い、実験値と比較したところ、理論と実験結果が一致した。また、開発薄帯を用いたコアの磁気特性を評価し、他の代表的な低透磁率コアと比較して80%強の低損失化が実現できることを示した。作製したコアの損失は、磁化回転を仮定した時のうず電流の計算値と一致し、理論限界まで損失を削減できた。開発材料はFe系であることからその飽和磁化が高く、コアの小型化の観点からも有効であることを示した。更に、今後の高密度実装に伴う動作温度の上昇を鑑み、作製したコアの高温特性を評価し、250℃付近まで磁気特性が劣化することなく動作可能であることを見いだした。

最後に、第6章にて本研究を総括し、今後の課題および展望を示した。