

(1-1)

論文内容の要旨

No. 1

専攻名	電気情報工学専攻	氏名	高木 孝太郎
題名	応力下焼鈍法を用い作製した透磁率制御型Fe系材料の高性能化に関する研究		
<p>電子機器内部で使用されるチョークコイル等の直流重畳磁界下で動作する磁気デバイスは、直流磁界の影響で動作点がヒステリシスループの原点から直流磁界分移動する。高透磁率材料を使用した場合、動作点が磁気飽和領域に達し実効的な透磁率が1となるため、磁性体を磁心に用いることの長所を生かすことができない。そこで、ある程度低透磁率に制御した材料が必要となる。従来の透磁率制御型磁心としては、安価な空隙付きフェライトコアが広く用いられてきたが、近年では小型化に対する強い要望や高負荷時の電流の増加によって直流磁界が増加し、フェライトよりも磁化の高い圧粉コア(Sendust, Amorphous 等)が普及しはじめている。一般に磁気デバイスの小型化には動作周波数の増加が有効であり、今後は磁化が高いことに加え、より低損失(高周波特性に優れる)であることが強く要望されると考えられる。</p> <p>このような背景を踏まえ本研究室では、Herzer らが報告した Fe-Cu-Nb-Si-B アモルファス薄帯の長手方向に張力を印加しながら熱処理を施すことで、試料の長手方向に対して垂直な方向に異方性が誘起されるという物理現象を透磁率制御コアに適用できるのではないかと考え、これまで検討を行ってきた。その結果、チョークコイルの代表的な応用例である DC-DC コンバータの駆動周波数帯である数百 kHz から数 MHz の高周波下において、既存のコアの磁気特性を凌駕する高性能なコアとなりうるということがわかってきた。しかし、異方性付与過程において、比較的長時間の熱処理が必要である、異方性付与に工業的に不利な張力を利用する、また、熱処理後の試料が脆弱である、飽和磁化がフェライトよりは高いものの圧粉磁心と比較すると同程度もしくは若干低い、などの問題点を抱えていた。これらの問題点のうち に関しては、本研究室の島田らによって、張力を印加した状態の試料を一定温度に保温した加熱炉内を通過させる「応力下連続焼鈍法」が、一回の熱処理で短時間・大量の試料作製が可能で、単位印加張力に対して誘導される異方性強度が増加するということが見出され、生産性の改善の可能性が示唆された。そこで本研究では、の克服を目的に島田らの研究を発展させ(1)応力下連続焼鈍法による Fe 系透磁率制御型薄帯における熱処理時間の短縮に関して検討を行った。その結果、加熱炉内の温度と試料の移動速度を最適化することで、約 3.3 sec で 50 cm の長尺薄帯に異方性誘導を完了することができた。この長尺薄帯を用い、トロイダルコアを作製しその磁気特性を評価したところ、<math>f=0.1 \sim 1</math> MHz の範囲で、ほぼ一定の比透磁率を示した。また、<math>B_m=0.1</math> T、<math>f=0.1</math> MHz 時の磁気損失 <math>P_{cv}/f</math> は約 <math>0.4</math> J/m<sup>3</sup> となり、既存の透磁率制御型コア(&gt; 4 J/m<sup>3</sup>)の値よりも 1 桁程度低い値を示し、本研究室が報告したコアの結果と同程度の良好な磁気特性を示した。本検討により、従来数時間を要していた異方性付与過程を数 sec に短縮できることを明らかにした。</p>			

専攻名	電気情報工学専攻	氏名	高木 孝太郎
<p>次に、生産性改善の一貫として(2)熱処理装置の簡素化に検する検討を行った。検討(1)では、熱処理に赤外線加熱炉を用いたが、加熱炉が高価であることに加え、異方性誘導に有する赤外線の出電力が約 1.5 kW と高い点も改善が必要である。生産性の改善には、熱処理装置自体が安価であることに加え、異方性誘導に必要なエネルギーの低減も重要な要素となる。そこで、装置が簡素でかつ、異方性誘導に必要なエネルギーの低減が期待されるジュール加熱を用いた応力下連続ジュール加熱法を適用した。応力下連続ジュール加熱法にて熱処理条件を最適化したところ、約 2.1 sec で 50 cm の長尺薄帯に異方性誘導を完了することができ、先述した加熱炉を用いた応力下連続焼鈍法よりも短時間での異方性誘導を実現した。異方性誘導に必要な電力は約 2 W 程度であり、異方性付与に必要なエネルギーを著しく低減できることを明らかとした。</p> <p>最後に、の克服を目的に(3)飽和磁化の増加に関する検討を行った。本研究では <math>\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15.5}\text{B}_7</math> 薄帯を主に用いたが、多くの非磁性元素を含むため、1.2 T 程度の飽和磁化しか得られない。飽和磁化の増加には非磁性元素を減らす必要があるが、低磁気損失を保つには結晶粒径がナノサイズであることが不可欠であり、これには非磁性添加元素の担う役割が大きい。そこで、添加元素を用いることなくナノ構造の構築が期待されるパルス(急速加熱)熱処理を用いることにした。異方性誘導に先立ち、Fe を増やした系でパルス熱処理の効果を検証するため、<math>\text{Fe}_{82.65}\text{Cu}_{1.35}\text{Si}_2\text{B}_{14}</math> アモルファス薄帯に温度制御熱処理(熱処理温度 <math>T_{an} = 530</math> , 昇温時間 20 min, 保温時間 30 min)とパルス熱処理(1.56 kW, 7 sec)を施した。温度制御熱処理後の試料の保磁力は約 50 A/m であったのに対し、パルス熱処理後の試料の保磁力は 10 A/m 以下の低保磁力を示した。これは、パルス熱処理後の試料の結晶粒径が温度制御熱処理の粒径よりも微細化されたことに起因するものと考えられる。飽和磁化に着目すると、<math>\text{Fe}_{73.5}\text{Cu}_1\text{Nb}_3\text{Si}_{15.5}\text{B}_7</math> 薄帯と比較して約 1.5 倍の値が得られ、コアを 2/3 に小型化できる可能性が示唆された。</p> <p>上記結果より、パルス熱処理を施すことで非磁性添加元素を用いることなく低磁気損失なコアを作製できる可能性が示唆されたが、本研究の応用対象は透磁率制御コアであるため、異方性の付与が不可欠な条件である。そこで、<math>\text{Fe}_{82.65}\text{Cu}_{1.35}\text{Si}_2\text{B}_{14}</math> アモルファス薄帯に応力下連続パルス熱処理法を施し、異方性付与に関する検討を行った。その結果、繰り返し周期 10 sec, デューティー比 0.7, 赤外炉出力 1.56 kW 及び印加張力 25 MPa の条件において、<math>250 \text{ J/m}^3</math> の異方性誘導が確認された。本結果は、飽和磁化を 1.5 倍に増加させた材料において透磁率制御の可能性を示唆するものであり、本研究室が提案してきたコアを更に小型化しようとした際に重要な知見になると考えられる。</p> <p>本研究を総括すると、これまで本研究室で提案してきた優れた磁気特性を有する Fe 系透磁率制御コアの作製過程において、飛躍的な熱処理時間の短縮と熱処理装置の簡素化を実現した。加えて、1.5 倍の飽和磁化を有する材料への透磁率制御の可能性を見出し、従来提案してきたコアよりもさらに小さなコアを短時間で作製できる可能性を示したことが本研究の要旨である。</p>			