

氏 名 や ぎ ま さ あ き
八 木 正 昭

授 与 学 位 工 学 博 士

学 位 授 与 年 月 日 昭 和 54 年 4 月 11 日

学 位 授 与 の 根 拠 法 規 学 位 規 則 第 5 条 第 2 項

最 終 学 歴 昭 和 40 年 3 月

東北大学工学部電気工学科卒業

学 位 論 文 題 目 角 形 ヒ ス テ リ シ ス 特 性 を も つ 金 属 磁 心 の 動 特 性 と 磁
化 機 構 に 関 す る 研 究

論 文 審 査 委 員 東北大学教授 穴 山 武 東北大学教授 村 上 孝 一

東北大学教授 脇 山 徳 雄 東北大学教授 津 屋 昇

東北大学教授 岩 崎 俊 一

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 緒 言

角形ヒステリシス特性をもつ多結晶金属テープ磁心は、磁気増幅器、磁気アナログ記憶素子をはじめとする各種のアナログ信号変換素子として広く用いられており、磁心の動特性に関する研究は、これら非線形磁気応用素子の基礎的問題として重要視され種々行なわれている。

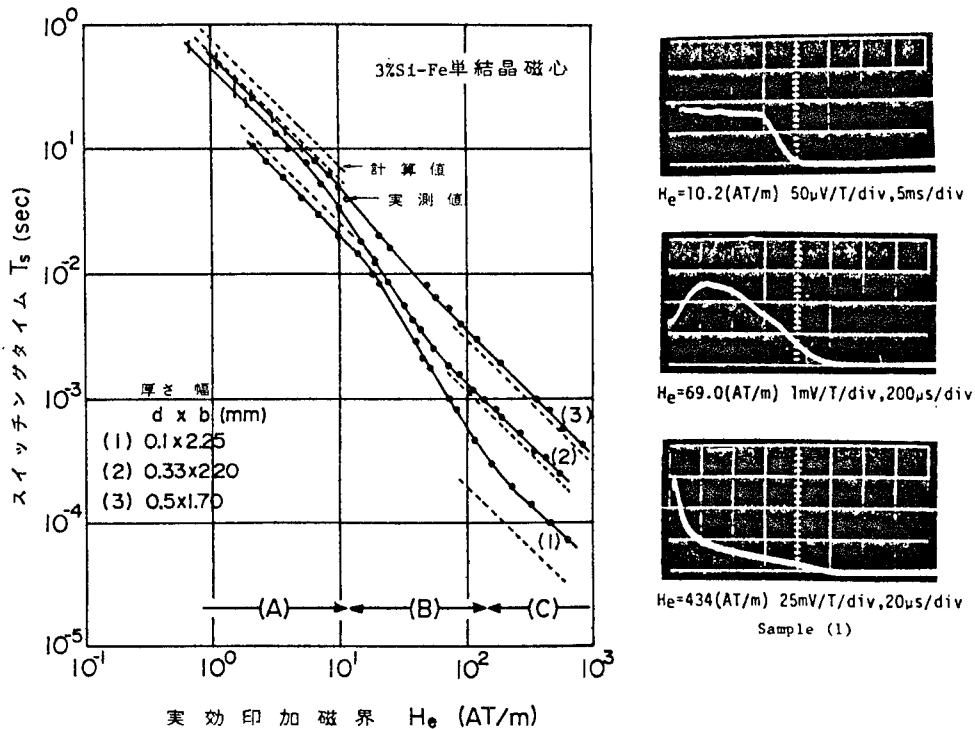
磁心の動特性（動的振舞）を把握するには、それらと密接な関係にあると考えられる磁心内部に形成される磁区構造を詳しく検討することが重要であるが、従来の研究は、主として磁区モデルによる磁心の動作解析を中心として行なわれており、磁区観測に基づく磁区構造の検討は十分になされておらず、広い動作領域にわたる動特性と磁区構造の変化の対応関係は明らかにされていない。さらに、各種の非線形磁気応用素子の動作機能と密接に関係のある磁心の部分磁化に関係する諸特性についても磁区観測を基にした検討が十分なされていない。

本研究は、以上のような観点から、磁区観測に基づく検討を重要視して、まず、磁心の動特性を考察する上で基礎として重要な単結晶磁心について、パルス磁界を加えて磁化反転させた場合の誘起電圧の測定と磁区観測を同時に行ない、両者の関係を詳しく検討することによって、単結晶磁心の動特性と磁化機構を明らかにした。次いで、多結晶金属テープ磁心について、単結晶磁心の検討結果および磁区観測結果を基にして、従来不明確であった中速度および高速度磁化領域

の動特性と磁化機構に関する問題を明らかにした。さらに、アモルファス巻磁心を単結晶および多結晶磁心と同様の手法を用いて検討し、その特有の動特性と磁区構造を明らかにした。最後に、磁心の部分磁化状態の磁区構造やその性質を明らかにし、さらに磁心の小振幅交流励振特性（マイナーループ特性）を詳しく検討し、従来明確にされていなかった誘起電圧の基本波成分および倍周波成分の発生機構を考察した。

第2章 3%Si-Fe 単結晶磁心の動特性と磁化機構

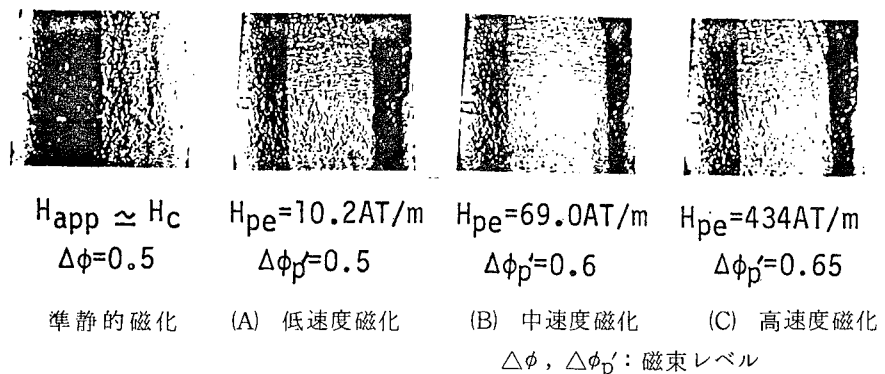
磁化容易方向〔100〕に平行な正方形の額縁形の3%Si-Fe単結晶磁心に定電流パルスによるパルス磁界を加えた場合の誘起電圧波形の測定とカー効果を用いた磁区観測をスイッチングタイム（磁化反転時間）が $10^0 \sim 10^{-5}$ sec. の広い動作領域にわたって行ない、単結晶磁心の動特性と磁化機構を検討した。その結果、第1図に示したように、単結晶磁心のスイッチング特性は、



第1図 3%Si-Fe単結晶磁心の誘起電圧波形とスイッチング特性

磁心の厚みが薄くなれば、実効印加磁界 H_e （＝印加磁界 H －保磁力 H_c ）の大きさによって(A)低速度磁化、(B)中速度磁化、(C)高速度磁化領域の三領域に分けられることを見出し、従来全く知られていなかったスイッチングタイムが急激に減少する中速度磁化領域の存在とスイッチング特性の非線形性を明らかにした。

一方，磁区観測によって，第2図に示したように，磁区構造は印加磁界の大きさに関係なく試料端から発生した磁壁によって形成されていることを見出し，さらに中速度磁化以上では磁化速度の増加に従って磁区構造は彎曲した形状を示し，磁壁の平均移動速度が中速度磁化領域で実効印加磁界の1.8乗に比例して急激に増加することを明らかにした。これら磁区観測による検討結果を基にして動特性を考察し，中速度磁化領域におけるスイッチングタイムの急激な減少を伴うスイッチング特性の非線形性は，磁壁の平均移動速度の実効印加磁界に対する非線形な依存性に起因することを明らかにした。また，単結晶磁心を部分磁化した場合は顕著なもどり磁束の現象が見られ，磁区構造が印加磁界の大きさに関係なく試料端に平行で表面にほぼ垂直な磁壁によって形成されているなどの特徴を明らかにした。



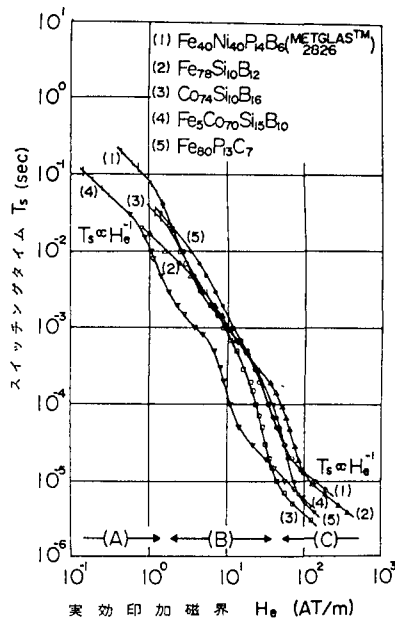
第2図 3% Si-Fe 単結晶磁心の磁区模様

第3章 多結晶金属テープ磁心の動特性と磁化機構

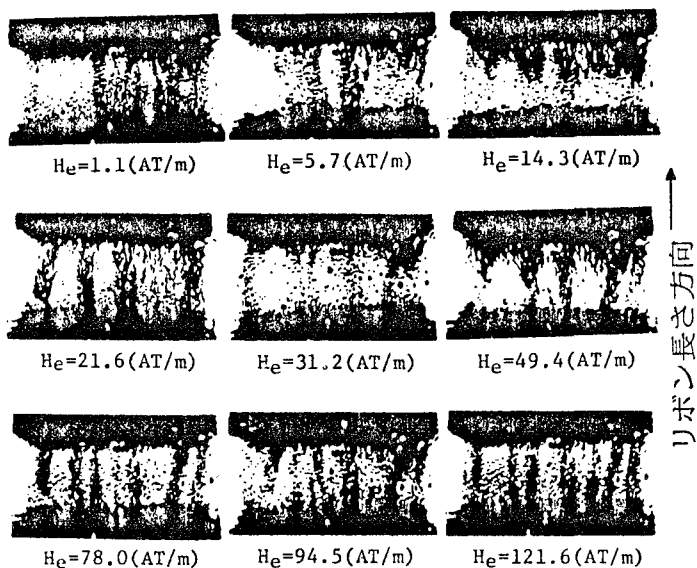
最初，50% Ni-Fe 磁心で代表される多結晶金属テープ磁心について従来報告されている磁化機構を考慮した磁心の動特性の研究の主な成果を検討し問題点を指摘した。すなわち，従来の研究は，磁区モデルによる検討が先行し中心となっており，磁区観測に基づく磁区構造の検討が不十分であり，さらに両者相互の吟味が十分なされていないことを論じている。このような観点から，まず，磁心材料として用いられている50% Ni-Fe 多結晶テープにパルス磁界を加えた場合の磁区観測を広い動作領域にわたって行ない，磁区模様が印加磁界の大きさによって種々変化することを明らかにし，これら磁区観測結果と従来提唱されている磁区モデルとの対応関係を論じ，従来推論の域にあった中速度および高速度磁化領域の磁区構造を明らかにした。次いで，これら磁区観測による検討結果および第2章の単結晶磁心の考察結果から，従来の中速度磁化領域における動特性と磁化機構の考察に不十分な点があることを指摘し，磁壁の平均移動速度と磁壁数双方の変化を考慮したスイッチング特性の検討を50% Ni-Fe および3% Si-Fe 多結晶テープ磁心について行ない，多結晶金属テープ磁心のスイッチング特性の非線形性は磁壁の平均移動速度および磁壁数の双方の実効印加磁界に対する非線形な依存性に起因することを明らかにした。

第4章 アモルファス巻磁心の動特性と磁区構造

本章では、最初、 $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{14}\text{B}_6$ (METGLASTM 2826) および片ロール法で作成した $\text{Fe}_{78}\text{Si}_{10}\text{B}_{12}$ をはじめとするアモルファス強磁性リボンを用いた巻磁心の動特性を第2章の単結晶磁心および第3章の多結晶金属テープ磁心の場合と同様の手法でしらべ、単結晶および多結晶金属テープ磁心の動特性と比較検討した。その結果、第3図に示したように、アモルファス巻磁心のスイッチング特性は、合金組成に関係なく、低速度および高速度磁化領域では結晶質金属磁心と一致し、中速度磁化領域では結晶質金属磁心には見られない異なった特有の非線形性を示すことを明らかにした。また低速度で磁化した場合の誘起電圧波形が結晶質金属磁心に比べ不規則性の大きいことを明らかにした。次いで、巻磁心状態の磁心表面の磁区観測を行ない、部分磁化状態の磁区模様が第4図に示したように印加磁界の大きさに関係なく、主としてリボンの長さ方向（巻き方向）に大体平行な帯状磁区によって形成されていることを見出し、磁壁数および磁壁の平均移動速度が実効印加磁界に対して非線形な依存性を有していることを明らかにした。さらに、これら磁区観測結果を基にしてスイッチング特性を検討し、アモルファス巻磁心特有の曲折したスイッチング特性の非線形性も磁壁数および磁壁の平均移動速度の実効印加磁界に対する非線形な依存性に起因することを明らかにした。最後に、エージングの直流磁化曲線および動特性におよ



第3図 アモルファス巻磁心のスイッチング特性



$\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{P}_{14}\text{B}_6$

磁束レベル 0.4~0.6

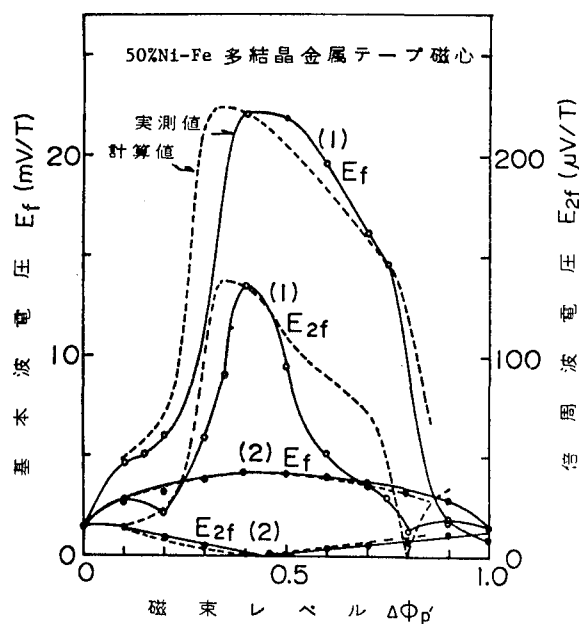
図4図 アモルファス巻磁心の磁区模様

ばす影響についての二、三の実験結果を示した。

第5章 部分磁化特性および小振幅交流励振特性

本章では、50%Ni-Fe多結晶金属テープ磁心を中心として、まず、磁心を種々のパルス磁界で部分磁化した後、部分磁化点を基点として準静的に磁化した場合の磁化曲線を詳しく検討し、磁化曲線の形状が印加磁界の大きさや磁束レベルによって種々変化することを明らかにし、その原因が磁区構造の変化に起因することを磁区モデルを用いて説明し、磁化曲線の形状から磁区構造やその性質を推論できることを明らかにした。さらに、単一パルス部分磁化とパルス列部分磁化の場合の磁区観測結果と部分磁化点を基点とする磁化曲線を比較検討し、パルス列部分磁化の場合は、パルス幅を狭くすると、単一パルス部分磁化においてパルス振幅を小さくした場合と同様の磁区構造と部分磁化特性を示す傾向のあることを明らかにした。

次いで、パルス磁界で部分磁化した後、部分磁化状態で小振幅の正弦波磁界を加えた場合の誘起電圧の基本波成分および倍周波成分を検討し、それらが磁束レベルや印加磁界に対して非線形な依存性を有していることを示し、その非線形な依存性と部分磁化点を基点とする磁化曲線より求めた初透磁率の磁束レベルや印加磁界に対する非線形な依存性とは一致し、両者は密接な関係があることを見出した。さらにこれらの結果を基にして、任意の磁束レベルにおける非対称性を考慮したマイナーループをモデル的に検討し、誘起電圧の基本波成分および倍周波成分と初透磁率の関係を導き、その結果を用いて、第5図に示したように、小振幅交流励振特性の磁束レベルや印加磁界に対する非線形な依存性を説明できることを明らかにした。



印加磁界（入力磁界）
(1) $H_p = 133.6 \text{ AT/m}$, (2) $H_p = 24.2 \text{ AT/m}$
励振磁界 $H_{ac} 50 \text{ KHz}, 4.45 \text{ AT/m}$

第5図 50%Ni-Fe多結晶金属テープ磁心の基本波電圧、倍周波電圧の磁束レベルに対する関係

第 6 章 結 言

第 2 章から第 5 章にわたって本論文で記述した角形ヒステリシス特性をもつ単結晶磁心，多結晶金属テープ磁心，およびアモルファス巻磁心の動特性と磁化機構に関する研究成果の主要な点を取りまとめて述べている。本研究では，種々の印加磁界に対する誘起電圧の検討に加えて磁区観測に基づく検討を同時に行なうことによって，従来推論の域にあったものや不明確であったこれら金属磁心の広い動作領域にわたる動特性と磁区構造の変化との対応関係をほぼ明らかにすることができた。

審 査 結 果 の 要 旨

角形ヒステリシス特性をもつ磁心の動特性は、磁気増幅器など各種非線形磁気回路素子の性能を決定する重要な性質であるが、磁区構造との関係などまだ不明の点が数多く残されている。

著者は、単結晶磁心、多結晶磁心、アモルファス磁心など角形ヒステリシス特性をもつ種々の磁心について、磁気構造を詳しく検討し、従来不明確であった磁化条件による動特性の変化と磁区構造の関係や各種磁心の磁化機構の特徴などを明らかにした。本論文はその成果をまとめたもので全文6章よりなる。

第1章は緒論である。

第2章では、3% Si-Fe 単結晶磁心の動特性と磁化機構を磁区観測の結果を基にして論じている。すなわち、単結晶磁心では、印加磁界を増しても磁壁数はほとんど変化しないが磁壁の形状が次第に彎曲することに特徴があることをはじめて明らかにし、磁壁移動速度の変化がスイッチング特性に現われる低速度・中速度・高速度の3領域によく対応すること、部分磁化時には磁壁の彎曲に起因する顕著な磁束のもどり現象を生ずることなど興味ある性質を明らかにしている。

第3章では、50% Ni-Fe 磁心を中心に多結晶磁心についての検討結果を述べている。すなわち、多結晶磁心では、単結晶磁心に比べ中速度領域におけるスイッチング特性の変化が急峻であることを見出し、磁壁数および磁壁移動速度がともに印加磁界により変化することを考慮すればこの現象がよく説明できることを明らかにしている。

第4章では、種々のアモルファスリボン巻磁心について動特性および磁区構造を調べ、磁化反転がリボンの長さ方向に形成される帯状磁区の磁壁移動により行われるという特徴を明らかにし、磁壁数および磁壁移動速度の印加磁界依存性が単結晶および多結晶磁心に比べ著しく非線形であるため、中速度領域におけるスイッチング特性の非線形性が強くなることなど幾多の新しい知見を得ている。

第5章では、前章までの成果を基にして磁心の部分磁化特性および小振幅交流励振特性を論じている。著者は、部分磁化後の磁化曲線の形状や初透磁率が磁区構造に依存することを見出し、これを基に小振幅交流励振時の基本波および倍周波電圧の発生機構と磁区構造との関係を明らかにしているがこれは評価すべき成果である。

第6章は結論である。

以上要するに、本論文は角形ヒステリシス特性をもつ磁心の動特性が磁区構造に強く依存することを磁区観測によって具体的に立証し、単結晶、多結晶、アモルファスなど各種磁心の磁化機構の特徴を明らかにしたもので、磁気工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。