

氏 名	しら が よし あき 白 神 良 昭
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 5 0 年 1 1 月 5 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 2 0 年 9 月 東北帝国大学工学部通信工学科卒業
学 位 論 文 題 目	三端子電気容量変化法による静磁気特性の測定に関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 津屋 昇 東北大学教授 和田 正信 東北大学教授 松尾 正之 東北大学教授 岩崎 俊一 東北大学教授 増本 健

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 緒 論

三端子電気容量変化法とは、二端子コンデンサを導体で包み遮蔽を行い三端子構造とし、この直接容量を変成器ブリッジで測定する方法であり、変化し易い浮遊容量の影響が自動的に取り除かれ、直接容量が精密に測定出来る方法である。本研究に於いては、この方法を応用して、静磁気特性として基本的な磁化、磁気異方性及び磁歪を測定する装置を製作し、最近注目を浴びている amorphous 磁性薄帯を主として取り上げ、上記諸特性に対する知見を提供することを目的とした。従来これ等の測定には、光挺子法、歪計法等を用いた種々の測定装置が開発されているが、これ等の方法は外乱に強いとは云えず、不斉ドリフトを伴う等の欠点のため上記試料を測定するには必ずしも適当ではない。三端子容量変化法は感度が高く、dynamic range が広く、有効桁

数が多いので、外部からの擾乱を受けにくい構造の信頼性の高い測定装置が期待出来る。本論文ではこれ等3種の測定装置の具体的構造とその性能に就いて述べ、amorphous 試料について観測した結果を報告する。

## 第2章 三端子容量測定用変成器ブリッジ

変成器ブリッジは、従来の四辺ブリッジの抵抗比例辺を密結合の変圧器巻線で置き換えたものである。本章では先ず平衡条件の理論的解析を行ない、感度として測定容量の変化率  $1 \times 10^{-6}$  のとき  $1 \mu V$  の出力電圧が期待されること、巻線の残留インピーダンスと分布容量の影響は  $1 \text{ kHz}$  に於いて  $0.26 \text{ ppm}$  以下にすることが出来ること、測定周波数が高くなると誤差が増加するので、測定周波数は  $1 \text{ kHz}$  附近が適当であること等を明らかにした。さらに変成器ブリッジを製作し、ついでこれが3章以下で述べる各測定器の三端子容量測定ブリッジとして使用可能であることを明らかにした。

## 第3章 三端子電気容量変化法による磁歪の測定

磁歪測定試料は厚さ  $30 \mu\text{m}$  程度、巾  $1 \text{ mm}$ 、長さ  $1.5 \text{ mm}$  程度の薄片を10枚接着積層したもので

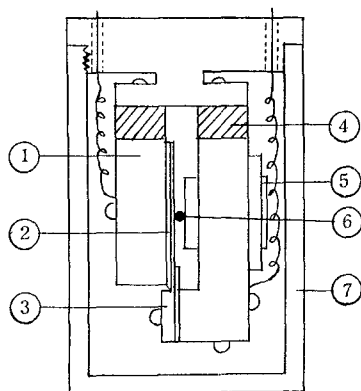


Fig. 1 容量セルの構造

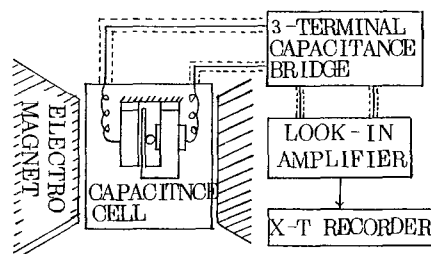


Fig. 2 三端子容量法の構成図

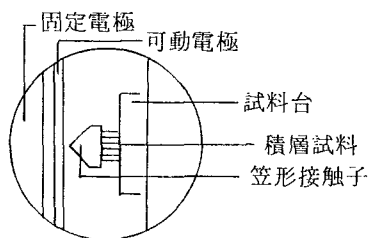


Fig. 3 Fig. 1, (6)の部分の拡大図

その寸法は極めて小さいので、Fig. 1に示す測定用容量セルを製作しFig. 2に示した測定系を考案した。①は固定電極、②は可動電極、③はスプリング、④は絶縁物、⑤は試料台、⑥は試料、⑦はシールドケースである。この容量セルを用いて電極間距離とキャパシ

ティの関係を実測した結果、理論的關係と極めて良く一致し、初期容量を10 pF附近に設定した場合、殆んど3桁の有効数字と、分解能として1 Å以下が得られることを明らかとした。さらに積層Niを測定し従来の値と一致した。次にYIG単結晶等の磁歪を測定した結果従来の信頼されている値と1%以内で一致し、この容量セルによる測定に充分の精度がある事が判明した。

本装置を用いて $\text{Fe}_{0.8-x}\text{Ni}_x\text{P}_{0.13}\text{C}_{0.07}$ の組成のamorphous薄帯試料について、Niの含有率xに対して、観測方向と磁界の印加方法の組合4つの場合について測定を行ない磁歪の角度依存性と磁界依存性を測定した。Fig. 4は印加磁界と観測方向の角度 $\theta$ について磁歪の振巾を描いたもので、角度に対して正弦波状にその振巾が変化している。Fig. 5には磁界を観測方向と平行の場合、直角の場合とについて磁歪の磁界依存性を示したもので、強制体積磁歪の効果も表われている。この場合Ni量xに対する磁歪をFig. 6に示した。またAの場合の磁歪の温度依存性をFig. 7に示した。Feの濃度が高い場合磁歪が大きく、金属Niと同程度の値を示す。

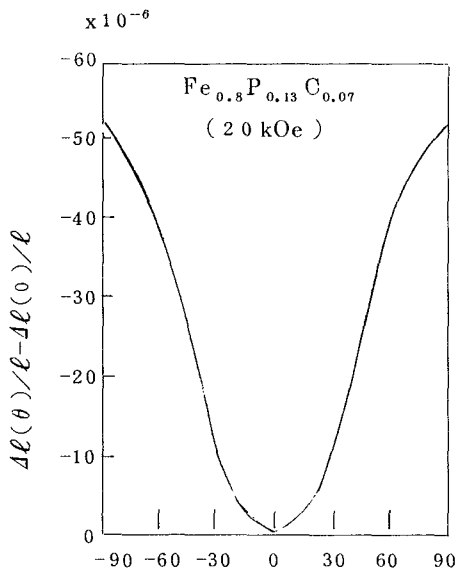


Fig. 4

amorphous  $\text{Fe}_{0.8}\text{P}_{0.13}\text{C}_{0.07}$   
の磁歪の角度依存性

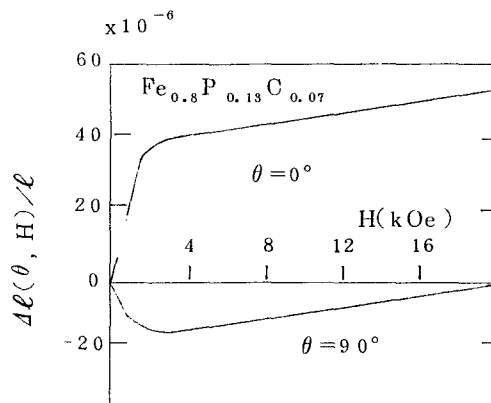


Fig. 5

amorphous  $\text{Fe}_{0.8}\text{P}_{0.13}\text{C}_{0.07}$   
の磁歪の磁界依存性

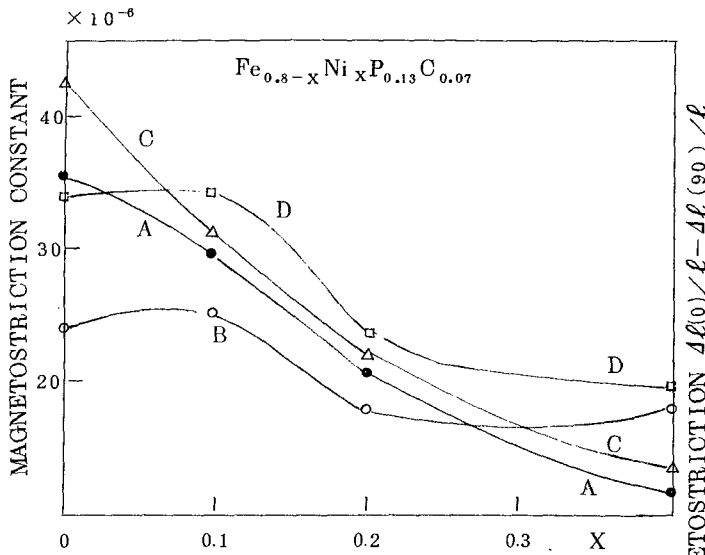


Fig. 6 観測方向；長さ方向A, C, 巾方向B, D  
磁界回転面；試料面内A, B  
試料面に直角C, D

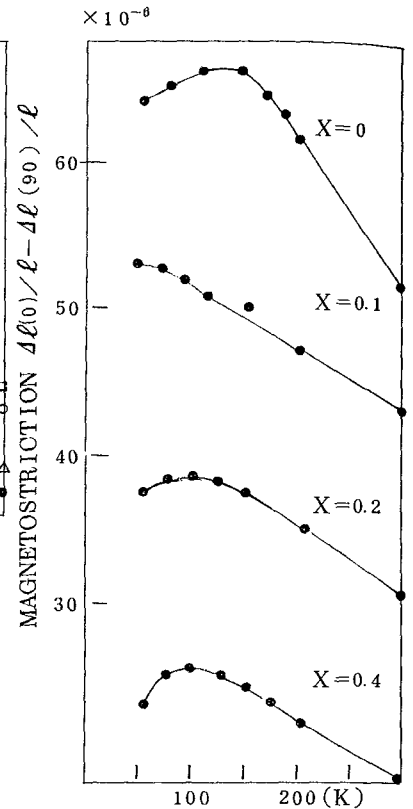


Fig. 7 磁歪の温度依存性

#### 第4章 三端子電気容量変化法による磁気異方性の測定

従来の磁気異方性測定用トルク計では、試料が磁極に吸引されて横振れを生じ、これがトルクの誤差となることが最大の欠点である。三端子法は非常に高感度且つ信頼性が高いので、この特徴を利用して機械的に安定度が高いトルク計の実現が期待出来る。本章では横振れに対して充分強く、トルクに対して充分感度の高い構造の容量セルを製作した。これをFig. 8に示す。①は端子、②熱電対用シール端子、③リード線、④は可動電極、⑤は固定電極、⑥は板ばね、⑦は連結管、⑧は試料ホルダー、⑨は熱電対用穴、である。板ばねは $120^\circ$ おきに3枚設け、その面は中心軸に向っている。各々の中間に固定電極並びに可動電極を設け、これ等が試料支持棒の偏角を検出する。トルクは標準コイルを用いて校正し、これを用いてYIG単結晶の異方性を測定した。その結果 $K_1$ は従来の値と良く一致し、充分の信頼性が確かめられた。また従来知られていなかった $K_2$ として $3.14 \times 10^3 \text{ erg/cc}$ を得た。

$\text{Fe}_{0.7}\text{Cr}_{0.1}\text{P}_{0.13}\text{C}_{0.07}$ のトルク曲線をFig. 9に示した。磁界は試料面内で回転した。面内異方性定数は $5 \times 10^4 \text{ erg/cc}$ 程度であったが、Neugebauer法で観測した垂直磁気異方性定数

は  $1 \times 10^6$  程度で前者にくらべ 2 桁近く大きい値を示した。

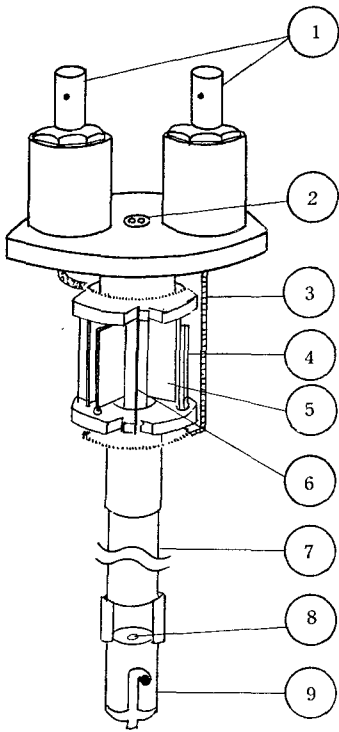


Fig. 8 静電容量形トルクメーター

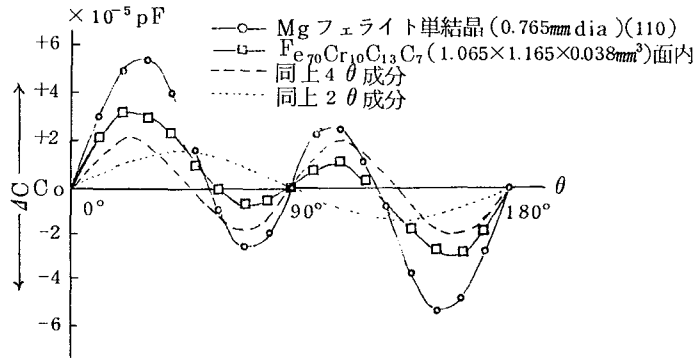


Fig. 9 磁界の角度と  $\Delta C$  の関係

## 第 5 章 三端子電気容量変化法を用いた振子形磁力計

本章では三端子法の特徴を利用して振子形磁力計を製作したことに就いて述べる。従来の構造では試料位置の変化によって加わる磁界が変化するのが欠点である。本装置では、試料位置の変化を  $10 \mu\text{m}$  以下に保ち且つ十分な感度が確保出来る。Fig. 10 にその装置の構造を示した。

この装置の感度は十分に高く、補償電流に対して直線性は良好であり、広い dynamic range が得られた。

amorphous  $\text{Fe}_{0.8-x}\text{Ni}_x\text{P}_{0.13}\text{C}_{0.07}$  について磁化の温度依存性を測定した結果を Fig. 11 に示した。磁化は Ni 含有量  $x$  が増加すると減少し、温度の上昇に伴ない標準的に減少することが判明した。

ついで amorphous 状態のガラス中の希土類イオンの帯磁率の温度依存性を He 温度から室温まで測定した結果 Curie の法則に従うことが判明した。

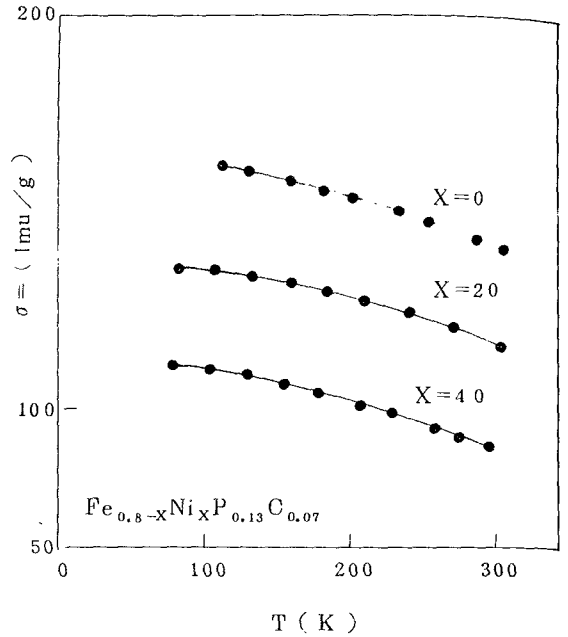
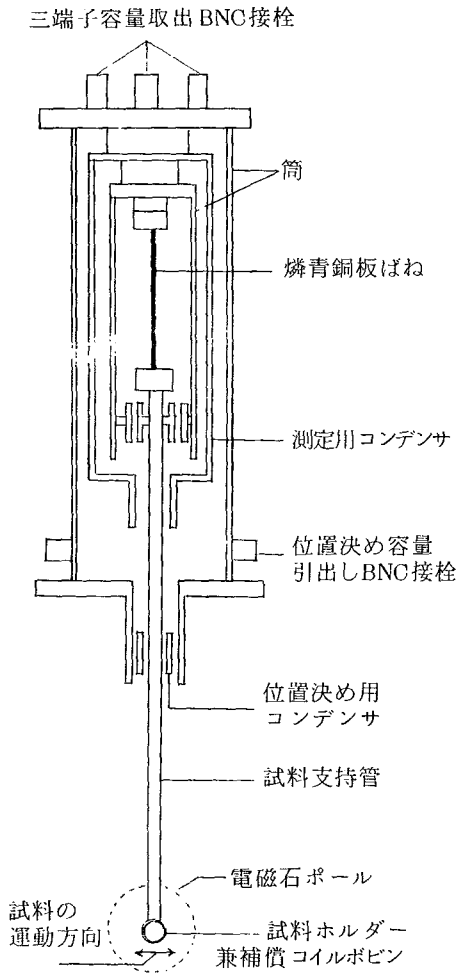


Fig. 11  
amorphous  $\text{Fe}_{0.8-x}\text{Ni}_x\text{P}_{0.13}\text{C}_{0.07}$   
の磁化の温度依存性

← Fig. 10 三端子電気容量変化法を利用し  
製作した振り形磁力計の説明図

## 結 言

本研究では、三端子容量変化法が高感度、高信頼性及び広いdynamic rangeをもつこと等の特徴を生かして、基本的静磁気特性である磁化、磁気異方性および磁歪を測定するに当り、まず変成器ブリッジを製作し、次いで、夫々に対する測定用容量セルを考案、製作し、その性能を明らかにした。次いで製作した測定装置を用いて、amorphous  $\text{Fe}_{0.8-x}\text{Ni}_x\text{P}_{0.13}\text{C}_{0.07}$  合金等の磁化、磁気異方性および磁歪を測定した。その結果磁化は温度並びにNi含有量xに対して単調に減少することが判った。面内磁気異方性は  $5 \times 10^4$  erg/cc程度に小さいことが判明した。磁歪は印加磁界の方向と観測方向との4種の組合せについて測定し、Ni成分と温度の増大に従って最初やゝ増大を示し、次いで単調に減少することが判明した。なおFeの含有量の大きいものについてはNiと同程度の大きな値を示すことが判明した。

## 審査結果の要旨

磁気特性を観測するには磁性と直接結合しない手段として、例えば静電容量を仲介とする測定法が好ましいが、これまで静電容量の高精度の測定が容易でなかったためにこの方法は磁気の測定法として発展しなかった。そこで信頼度、感度ともに高く、安定な容量測定法である三端子法を応用した磁気測定器を実現することは極めて望ましいことである。本論文は、基本的静磁気特性として磁化、異方性および磁歪の3種をとりあげ、三端子法を用いたこれらの測定器を作成するとともにその性質を明らかにし、さらに最近注目を集めている強磁性アモルファス薄片における静磁気特性の測定に利用することを目的として行った研究の成果をまとめたもので、全編5章と付録よりなる。

第1章は緒論である。第2章では、本研究に用いた変成器ブリッジの解析の結果と、製作した変成器ブリッジの特性について述べ、このブリッジが次章以下の諸測定に充分使用できることを明らかにしている。

第3章は本方法による微小薄片の磁歪の測定について述べたものであって、著者の最も努力した本研究の中心となるものである。まず目的とする磁歪の測定に適したキャパシタンスセルの構造を検討し、 $1 \text{ \AA}$ 以下におよぶ寸法変化が検知できるセル構造を明らかにするとともに、厚さ約 $30 \mu\text{m}$ 、巾および長さ共に $1 \text{ mm}$ 程度の薄片で磁歪が測定できることを示している。また磁歪の観測方向と外部磁界の方向との組合せのうち4種の場合について、アモルファス合金 $\text{Fe}_{1-x}\text{Ni}_x\text{P-C}$ の磁歪の測定結果を示している。すなわち磁歪はNiの含有量および温度の低下に従ってそれぞれ増大し、 $x=0$ では室温でも、多結晶の純鉄の約10倍におよぶ大きな飽和磁歪を示している。これらの結果は著者により始めて明らかにされたものである。

第4章では本方法によるアモルファス薄片の磁気異方性の測定について述べている。本アモルファス薄片は磁化が大きく、非晶質であるため異方性が小さい。著者は中心軸に向う3枚の板バネを組合わせた構造のキャパシタンスセルを考案し、外部磁界の回転による横振れに伴う誤差を極めて小さくすることに成功し、薄片の面内異方性が $10^4 \text{ erg/cc}$ の程度であることを示している。

第5章は本方法を振子型磁力計に応用した研究成果を述べたものである。著者はこの測定法においても三端子法の長所が充分に発揮され、吸引力により試料が受ける変位を $10 \mu\text{m}$ 以下に限定しても充分な感度とダイナミックレンジがあることを確かめた。ついでこの方法により、初めてNiを含むアモルファス薄片の磁化の温度依存性を明らかにした。

以上要するに、本論文は、三端子電気容量変化法による静磁気特性の測定器を作成し、これを用いて強磁性アモルファス薄片の諸磁気特性を測定するなど興味ある知見を加えたものであって、電子工学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。