

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2013 年 11 月 28 日(28.11.2013)



(10) 国際公開番号

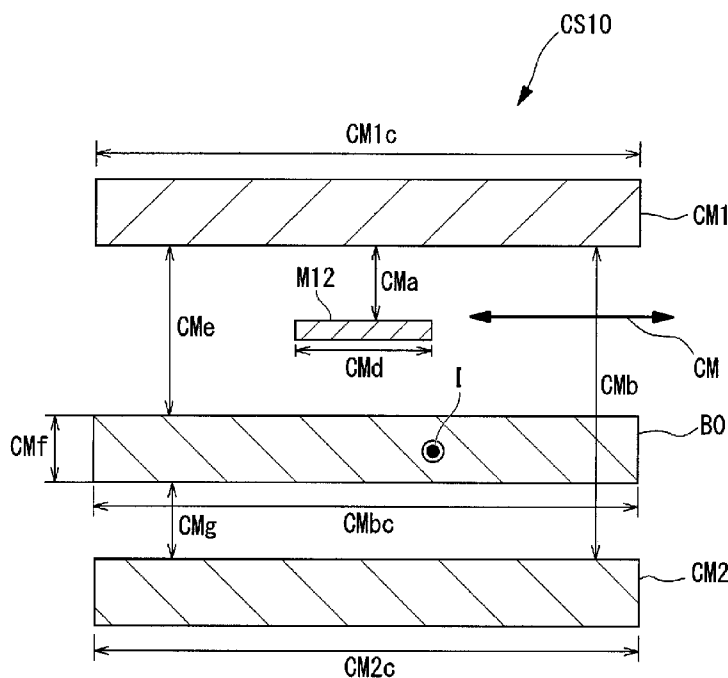
WO 2013/176271 A1

- (51) 国際特許分類:
G01R 15/20 (2006.01) G01R 33/05 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/064530
- (22) 国際出願日: 2013 年 5 月 24 日(24.05.2013)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2012-118967 2012 年 5 月 24 日(24.05.2012) JP
- (71) 出願人: 株式会社フジクラ (FUJIKURA LTD.)
[JP/JP]; 〒1358512 東京都江東区木場 1 丁目 5 番
1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 大森 賢一(OHMORI Kenichi); 〒2858550
千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジ
クラ 佐倉事業所内 Chiba (JP). 長洲 勝文(NA-
GASU Katsubumi); 〒2858550 千葉県佐倉市六崎 1
4 4 0 番地 株式会社フジクラ 佐倉事業所内
Chiba (JP). 須藤 勇気(SUTO Yuki); 〒2858550 千葉
県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ
佐倉事業所内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外(SHIGA Masatake et al.); 〒
1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号
Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保
護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA,
BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN,
CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH,
PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL,
SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保
護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW,
MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシ
ア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ
(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR,
GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT,
NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI
(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR,
NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: CURRENT SENSOR

(54) 発明の名称: 電流センサ



(57) Abstract: A current sensor for measuring the value of current flowing along a current path is equipped with a flux-gate magnetic element positioned near the current path, and a first and a second magnetic plate. Therein: the first and the second magnetic plates sandwich the current path and the flux-gate magnetic element in the direction in which the current path and the flux-gate magnetic element overlap; and the principal surfaces of the first magnetic plate and the second magnetic plate are parallel to the direction of magnetic sensitivity of the flux-gate magnetic element, and to the direction in which the current flows.

(57) 要約: 電流路に流れる電流の値を測定する電流センサが、電流路の近傍に配されたフラックスゲート型磁気素子と、第1の磁性体板および第2の磁性体板と、を備え、前記第1の磁性体板および第2の磁性体板が、前記電流路および前記フラックスゲート型磁気素子との重なり方向において、前記電流路および前記フラックスゲート型磁気素子を挟むとともに、前記第1の磁性体板および前記第2の磁性体板の主面は、前記フラックスゲート型磁気素子の感磁方向および前記電流が流れ

る方向と平行である。

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：電流センサ

技術分野

[0001] 本発明は、フラックスゲート型磁気素子を用いた電流センサに係り、特に、*phase-delay method*を動作原理とするフラックスゲート型磁気素子を利用した電流センサに用いて好適な技術に関する。

本願は、2012年05月24日に、日本に出願された特願特願2012-118967号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 近年、ハイブリッドカーや電気自動車に搭載された二次電池への充放電時の電流のモニタリングや、燃料電池などにより発電され供給される大電流を検出する電流センサとして、電流の作る磁界を磁気素子により測定することで電流値を測定する電流センサが普及している。

[0003] 従来、配線（バスバー）を流れる電流（被測定電流）を非接触で測定するための電流センサとして、ギャップを有するリング状コアのギャップ部にホール素子や特許文献3に示されるフラックスゲート型磁気素子などの磁電変換素子を配置し、バスバーがリング状コアの中心を貫通する構造とした磁気比例式の電流センサが知られている。（特許文献1、図10等）

[0004] 一方、電流センサの小型化のため、リング状コアを用いなくて、バスバーの周囲に磁電変換素子を配置して電流の作る磁界を検出するコアレス電流センサが提案されている（特許文献1，図12等）。リング状コアを備えていない電流センサにおいては、ホール素子や磁気抵抗効果（MR）素子、巨大磁気抵抗効果（GMR）素子やトンネル磁気抵抗効果素子、フラックスゲート型磁気素子、マグネトインピーダンス効果（MI）素子などの磁気素子が用いることができる。中でも、フラックスゲート型磁気素子は、素子の小型化が可能であるとともに高感度に磁界を検出することが可能であるため、電流センサへの適用が期待されている。

[0005] しかし、フラックスゲート型磁気素子は、その測定レンジが、磁気素子内部に形成された磁性体コアの磁気飽和特性に依存するため、広範囲の磁界強度に亘って測定することが困難である。特に大きな磁界が印加された場合には、磁界強度を検出することができないという問題点を持つ。

[0006] 磁気素子を用いた電流センサによってバッテリー等の電池に出入りする電流の測定を行う場合には、被測定対象バスバーに隣接するバスバーが存在するため、後者のバスバーに流れる電流が発生させる磁界が磁気素子に流入してしまい、被測定対象バスバーの電流測定の際にノイズとなる。このような磁気ノイズを軽減するためには、一般的に磁気素子とバスバーの周りに、外乱磁界（ノイズ磁界）の流入を遮蔽するための磁気シールドを設置する構造が挙げられる。このような例として特許文献1の磁気シールド体65、特許文献2のシールド24が挙げられる。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：日本国特開2010-014477号公報

特許文献2：日本国特開2009-150654号公報

特許文献3：日本国特許第4774472号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0008] しかし、特許文献1, 2のように、バスバー長手方向を除いた四面に磁気シールドを設けた場合には、外乱磁界を防止することはできるが、バスバーに流れる電流が発生させる磁界により、磁気シールド内の磁束密度が飽和してしまうというデメリットがある。その結果、シールド内の磁束密度分布が乱れ、バスバーに流れる電流と磁気センサ部の磁束密度の関係が線形にならない、すなわち、バスバーに流れる電流と電流センサの出力値の線形性が悪化してしまうという問題が生ずる。

さらに、特許文献1, 2の例では、このようにバスバー長手方向を除いた

四面に磁気シールドを設けるため小型化に不向きであるし、構造が複雑なため組立て加工も簡単ではない。

[0009] また、特許文献3に示されるフラックスゲート型磁気素子のような磁性体コアを用いた磁気素子は、大電流をバスバーに流した際に発生する大きな磁界により磁気素子内部に形成された磁性体コアが磁気飽和すると測定できないという問題を有している。したがって、フラックスゲート型磁気素子は、大電流の測定には不向きである。これを解決するために、磁気素子に備えられている励磁コイルに通電する電流値を大きくしたり、フィードバックコイルを設けフィードバック電流を印可し磁性体コアにおける磁束密度を調整したりすることで、大きな磁界を測定可能とすることができる。しかし、これらの手法では、電流センサの消費電流が増加するという問題が生じてしまう。

[0010] 本発明は上記課題に鑑み、フラックスゲート型磁気素子を用いた電流センサにおいて、大電流の測定が可能であるとともに、外乱磁界の影響を低減して測定誤差を小さくすることが可能な電流センサを提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0011] 本発明の第1態様にかかる電流センサは、電流路に流れる電流の値を測定する電流センサであって、電流路の近傍に配されたフラックスゲート型磁気素子と、第1の磁性体板および第2の磁性体板と、を備え、前記第1の磁性体板および第2の磁性体板が、前記電流路および前記フラックスゲート型磁気素子との重なり方向において、前記電流路および前記フラックスゲート型磁気素子を挟むとともに、前記第1の磁性体板および前記第2の磁性体板の主面は、前記フラックスゲート型磁気素子の感磁方向および前記電流が流れる方向と平行である。

[0012] 上記態様にかかる電流センサによれば、フラックスゲート型磁気素子が電流路を流れる電流の流れ方向に直交する感磁方向を有するとともに、前記第1の磁性体板および前記第2の磁性体板の法線方向視した前記電流路および

前記フラックスゲート型磁気素子が重なる位置に配され、前記第 1 の磁性体板および前記第 2 の磁性体板が互いに平行に配置されているので、前記第 1 の磁性体板と第 2 の磁性体板の主面の面方向として規定された測定方向、電流路を流れる電流の作る磁界の方向とされる電流路の幅方向に印加される外乱磁界は、前記第 1 の磁性体板と第 2 の磁性体板へ誘引される。そのため、前記フラックスゲート型磁気素子へ流入することを低減することができる。

同時に、電流路の幅方向において電流路の両脇に磁気シールドを設けないことにより、電流路に流れる電流が発生させる磁界によって磁性体板内の磁束密度が飽和し、磁束密度分布が乱れて電流センサとしての線形性が乱れてしまうことを防止できる。

[0013] 前記第 1 の磁性体板と前記第 2 の磁性体板との離間距離が、前記感磁方向における前記第 1 の磁性体板と前記第 2 の磁性体板の幅よりも小さくてもよい。

[0014] 上記態様にかかる電流センサによれば、フラックスゲート型磁気素子の感磁方向と平行な外乱磁界が、第 1 の磁性体板および第 2 の磁性体板の方へより効果的に誘引される。したがって、外乱磁界がフラックスゲート型磁気素子に流入することを、より効果的に抑制することができる。

[0015] 前記フラックスゲート型磁気素子には、第 3 の磁性体板が積層して形成されていてもよい。

前記第 1 の磁性体板および前記第 2 の磁性体板が、前記第 3 の磁性体板を覆うように配されていてもよい。

前記フラックスゲート型磁気素子は、前記第 1 の磁性体板および前記第 2 の磁性体板の重なり方向において、前記電流路と前記第 3 の磁性体板とによって挟まれる領域に配されていてもよい。

前記第 3 の磁性体板は前記電流路とは離れた位置、すなわち、前記第 1 の磁性体板側に配されていてもよい。

発明の効果

[0016] 本発明の電流センサによれば、大電流の測定が可能であるとともに、外乱

磁界の影響を低減して測定誤差を小さくすることが可能な電流センサを提供することが可能となる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]図 1 は、本発明に係る電流センサの第 1 実施形態を示す模式断面図である。

[図2]図 2 は、本発明に係る電流センサの第 1 実施形態におけるフラックスゲート型磁気素子を示す模式図である。

[図3]図 3 は、本発明に係る電流センサの第 1 実施形態におけるフラックスゲート型磁気素子の動作原理を示すグラフである。

[図4]図 4 は、本発明に係る電流センサの第 1 実施形態におけるフラックスゲート型磁気素子の磁性体コアの磁化状態の時間による変化を示すヒステリシス曲線である。

[図5]図 5 は、本発明に係る電流センサの第 1 実施形態におけるフラックスゲート型磁気素子を概略的に示す上面図である。

[図6]図 6 は、図 5 におけるライン a - a' に沿って切った横断面図である。

[図7]図 7 は、図 5 におけるライン b - b' に沿って切った断面図で、フラックスゲート型磁気素子を示す正断面図である。

[図8]図 8 は、本発明に係る電流センサの第 1 実施形態におけるフラックスゲート型磁気素子の他の例を示す上面図である。

[図9]図 9 は、本発明に係る電流センサの第 1 実施形態において電流路に実装した例を示す分解斜視図である。

[図10]図 10 は、本発明に係る電流センサにおける磁界状態を示すシミュレーション結果である。

[図11]図 11 は、サイドを有する磁気シールド内部の磁界状態を示すシミュレーション結果である。

[図12]図 12 は、サイドを有する磁気シールド内部の磁界状態を示すシミュレーション結果である。

[図13A]図 13 A は、磁気シールドでの飽和の有無による磁性体コア磁化状態

の影響を示すヒステリシス曲線である。

[図13B]図13Bは、磁気シールドでの飽和の有無による磁性体コア磁化状態の影響を示すヒステリシス曲線である。

[図14]図14は、本発明に係る電流センサの第1実施形態における他の例を示す断面図である。

[図15]図15は、本発明に係る電流センサの第1実施形態における他の例を示す断面図である。

[図16]図16は、本発明に係る電流センサの第1実施形態における他の例を示す断面図である。

[図17]図17は、本発明に係る電流センサの第2実施形態を示す模式断面図である。

[図18]図18は、本発明に係る電流センサの第3実施形態を示す模式断面図である。

[図19]図19は、本発明に係る電流センサの第3実施形態を示す上面図である。

[図20]図20は、本発明に係る電流センサの第4実施形態を示す模式断面図である。

[図21]図21は、本発明に係る電流センサの第5実施形態を示す模式断面図である。

[図22]図22は、本発明に係る電流センサの第6実施形態を示す模式断面図である。

[図23]図23は、本発明に係る電流センサの第7実施形態を示す模式断面図である。

[図24]図24は、本発明に係る電流センサの第7実施形態を示す上面図である。

[図25]図25は、本発明に係る電流センサの第7実施形態における磁気シールド内部の磁界状態を示すシミュレーション結果である。

[図26]図26は、電流センサにおける磁気シールド内部の磁界状態を示すシ

ミュレーション結果である。

[図27]図27は、本発明に係る電流センサの実施形態における他の例を示す断面図である。

[図28]図28は、本発明に係る電流センサの実験例を示すグラフである。

[図29]図29は、本発明に係る電流センサの実験例を示すグラフである。

[図30]図30は、本発明に係る電流センサの実験例を示すグラフである。

[図31]図31は、本発明に係る電流センサの実験例を示すグラフである。

[図32]図32は、本発明に係る電流センサの実験例を示すグラフである。

[図33A]図33Aは、本発明に係る電流センサの第1実施形態における他の例を説明するための模式断面図である。

[図33B]図33Bは、本発明に係る電流センサの第1実施形態における他の例を説明するための模式断面図である。

[図34]図34は、図33Aの電流センサにおいて、磁気シールドと磁気センサとの z 方向距離の変化に対する磁気素子に流入する磁束密度として、第3の磁性体板有り、第3の磁性体板無し、および、減磁率を示したグラフである。

[図35]図35は、図33A、図33Bの電流センサにおいてバスバーに電流を流した際と電流を遮断した際における残留磁界の状態を示す模式図である。

[図36]図36は、図33A、図33Bの電流センサにおいて z 方向で磁気シールドとバスバーとの中央に配置された第3の磁性体板に対して磁気素子配置を変化させた際の磁束密度を表したグラフである。

[図37]図37は、磁気素子の磁気シールドに対する z 方向位置を変更した場合における第3の磁性体板中の磁束密度と残留磁界により磁気素子に流入する磁界強度を示すグラフである。

[図38A]図38Aは、磁気素子に流入する磁束密度の変化を示すグラフで、 z 方向における磁気素子の設置位置に対する変化を示すグラフである。

[図38B]図38Bは、磁気素子に流入する磁束密度の変化を示すグラフで、C

M方向における磁気素子の設置位置に対する変化を示すグラフである。

[図39A]図39Aは、z方向の外乱磁界 H_{exd} の影響を示す模式断面図で、第3の磁性体板無し傾斜無しの状態を示すものである。

[図39B]図39Bは、z方向の外乱磁界 H_{exd} の影響を示す模式断面図で、第3の磁性体板無し傾斜有りの状態を示すものである。

[図39C]図39Cは、z方向の外乱磁界 H_{exd} の影響を示す模式断面図で、第3の磁性体板有り傾斜有りの状態を示すものである。

[図40]図40は、本発明に係る電流センサの第8実施形態を示す模式断面図である。

[図41]図41は、本発明に係る電流センサの第8実施形態における積層順および組み付け配置を示す模式断面図である。

[図42]図42は電流センサにおける測定電流と出力誤差の関係を示したグラフである。

[図43]図43は電流センサにおける測定電流と出力誤差の関係を示したグラフである。

[図44]図44は、外乱磁界の方向と磁気センサにおける磁束密度のセンサ感磁方向成分の関係を示すグラフである。

[図45]図45は、外乱磁界の方向と磁気センサにおける磁束密度のセンサ感磁方向成分の関係を示すグラフである。

[図46]図46は、本発明に係る電流センサの実験例における磁気センサ内部配置を示す模式断面図である。

[図47]図47は、本発明に係る電流センサの実験例におけるサンプルの測定電流と出力電圧との関係を示すグラフである。

[図48]図48は、本発明に係る電流センサの実験例におけるサンプルの測定電流と出力電圧との関係を最小二乗近似した近似直線と実測値の差を出力誤差として出力のフルスケール電圧に対するパーセンテージで示したグラフである。

[図49]図49は、本発明に係る電流センサの実験例におけるサンプルの測定

電流と出力電圧との関係を示すグラフである。

[図50]図50は、本発明に係る電流センサの実験例におけるサンプルの測定電流と出力電圧との関係を最小二乗近似した近似直線と実測値の差を出力誤差として出力のフルスケール電圧に対するパーセンテージで示したグラフである。

[図51]図51は、本発明に係る電流センサの実験例におけるサンプルの測定電流と出力電圧との関係を示すグラフである。

[図52]図52は、本発明に係る電流センサの実験例におけるサンプルの測定電流と出力電圧との関係を最小二乗近似した近似直線と実測値の差を出力誤差として出力のフルスケール電圧に対するパーセンテージで示したグラフである。

[図53]図53は、本発明に係る電流センサの実験例におけるサンプルの測定電流と出力電圧との関係を示すグラフである。

[図54]図54は、本発明に係る電流センサの実験例におけるサンプルの測定電流と出力電圧との関係を最小二乗近似した近似直線と実測値の差を出力誤差として出力のフルスケール電圧に対するパーセンテージで示したグラフである。

[図55]図55は、本発明に係る電流センサの実験例におけるサンプルの測定電流と出力電圧との関係を示すグラフである。

[図56]図56は、本発明に係る電流センサの実験例におけるサンプルの測定電流と出力電圧との関係を最小二乗近似した近似直線と実測値の差を出力誤差として出力のフルスケール電圧に対するパーセンテージで示したグラフである。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本発明に係る電流センサの第1実施形態を、図面に基づいて説明する。

図1は、本実施形態における電流センサを示す模式図であり、図において、符号CS10は電流センサを示している。

[0019] 本実施形態の電流センサCS10は、電流路（以下、バスバーという）に流れる被測定電流を、この被測定電流が発生させる磁界をフラックスゲート型磁気素子（以下、単に磁気素子という）で検出することにより測定するものとされる。図1に示すように、バスバーB0の近傍に磁気素子M12が配されており、磁気素子M12はバスバーB0を流れる被測定電流Iが作る磁界に平行な感磁方向CMを有する。

そして、バスバーB0および磁気素子M12を間に挟むとともに、被測定電流Iの流れ方向（電流路が延びる方向）と磁気素子M12の感磁方向CMとに沿うように対向して設けられた平板状の磁性体からなる第1の磁性体板CM1および第2の磁性体板CM2と、を具備してなる。

[0020] バスバーB0は、電気自動車、家庭用電源等、数100A以上の大電流が流れるものとされ、矩形断面を有し、紙面垂直方向に直線状に延在するものとされている。

[0021] 第1の磁性体板CM1および第2の磁性体板CM2は、互いに平行な2枚の磁性体からなる板体とされ、いずれもバスバーB0と平行に配置されている。第1の磁性体板CM1および第2の磁性体板CM2は、パーマロイやフェライト等が用いられるが、好ましくは比透磁率が10000以上の材料から構成される。これにより、外乱磁界を十分に誘引して、被測定磁界を正確に測定することが可能となる。

第1の磁性体板CM1および第2の磁性体板CM2の幅方向の中央（センター）位置において、第1の磁性体板CM1とバスバーB0とで挟まれる空間に磁気素子M12が配置される。磁気素子M12は、第1の磁性体板CM1と第2の磁性体板CM2と重なる領域に配置されており、その感磁方向CMが、被測定電流Iの流れ方向と直交する方向となるように配置される。また、磁気素子M12の感磁方向CMは、第1の磁性体板CM1および第2の磁性体板CM2の各主面と平行となるように配置される。

以降の説明においては、第1の磁性体板CM1、第2磁性体板CM2を、磁気シールドCM1、磁気シールドCM2と呼ぶ。または、単に磁気シール

ドと呼ぶ。

[0022] これら磁気シールドCM1, CM2は、測定対象であるバスバーB0以外に別の磁界発生源が存在するような場合でも、測定対象外のバスバーから発生する磁界のような外乱磁界を磁気シールドCM1, CM2へと誘引させ、磁気素子M12に到達する外乱磁界を低減するように形状・寸法・配置が設定される。

[0023] 図1に示すように、バスバーB0の幅寸法CMbc、磁気シールドCM1の幅寸法CM1c、磁気シールドCM2の幅寸法CM2cは互いにほぼ等しく設定されている。磁気シールドCM1の幅寸法CM1cと、磁気シールドCM1と磁気シールドCM2との離間距離CMbとの比($CM1c/CMb$)は、大きいほど良い。すなわち、磁気シールドCM1と磁気シールドCM2の幅CM1cは、磁気シールドCM1と磁気シールドCM2との離間距離CMbよりも大きければ大きいほど、外乱磁界は磁気シールドCM1と磁気シールドCM2へ誘引され、外乱磁界が磁気素子M12へ流入するのを抑制することができる。このように、磁気シールドCM1と磁気シールドCM2との離間距離CMbを磁気シールドCM1および磁気シールドCM2の幅方向の寸法CM1cより十分小さくすることで、バスバーB0の両サイドに磁気シールドを設けない構造であっても感磁方向CM方向の外乱磁界が、磁気素子M12への流入するのを低減させることが可能となる。

本発明における磁気シールドCM1および磁気シールドCM2は、外乱磁界を誘引することによって磁気素子に加わる外乱磁界を低減するための部材である。先行技術文献で説明されている、外乱磁界を遮蔽するための磁気シールドとは、異なる機能を備えている。

[0024] 磁気素子M12の幅寸法CMdは、図1に示すように、磁気シールドCM1と磁気シールドCM2の幅方向（感磁方向）の寸法CM1c、CM2cに対して、外乱磁界の影響を受けない程度に充分小さくなるよう設定される。好ましくは、 $CMd/CM1c$ が、0.01～0.4程度に設定される。

磁気素子M12は、磁気シールドCM1, 磁気シールドCM2の厚さ方向

において、バスバーB0から見て磁気シールドCM1の側に配置される。バスバーB0から磁気シールドCM1に向かうにつれて、つまり、バスバーB0から離れるにつれて磁気素子M12に流入する被測定磁界（バスバーに流れる電流が作る磁界）が小さくなるため、磁気素子M12は、被測定磁界が適正な強度となるように、その位置を設定する。また、本発明においては、バスバーB0と磁気シールドCM1との離間距離（CMe）が、バスバーB0と磁気シールドCM2との離間距離（CMg）よりも大きくなるように構成されている。

[0025] 磁気素子M12は、フラックスゲート型の磁気素子とされ、図2に示すように、軟磁性材料からなる磁性体コア1、励磁コイル9、検出コイル10を備えている。さらには、フィードバックコイル21を備えていてもよい。磁気素子M12は、制御用集積回路（信号処理回路）MT10に接続されている。制御用集積回路MT10は、磁気素子M12に駆動信号を供給する機能や、磁気素子M12からの出力信号を処理したりする機能を備えている。以下においては、磁気素子M12にフィードバックコイル21（図2ではFBコイルと表記）が備えられている場合について説明する。

[0026] 制御用集積回路MT10は、励磁コイル9に三角波等の連続波形とされる励磁電流を供給して、検出コイル10からの出力信号によりフィードバックコイル21へのフィードバック電流を出力するとともに、測定磁界の強度を出力するものとされる。

[0027] 本実施形態の電流センサCS10におけるフラックスゲート型磁気素子M12等の動作原理について説明する。

図3は、フラックスゲート型磁気素子の動作原理を示すグラフである。図3（a）は、励磁コイルに通電する三角波電流の時間変化を示すグラフである。図3（b）は、コアの磁化状態の時間変化を示すグラフである。図3（c）は、ピックアップコイルに生じる出力電圧の時間変化を示すグラフである。図4は、フラックスゲート型磁気素子M12の磁性体コアの磁化状態の時間による変化を示すヒステリシス曲線である。

[0028] 励磁電流発生回路MT11から、励磁コイル9に図3(a)に示すような三角波電流を通电すると、励磁コイル9の作る磁界 H_{exc} により磁性体コア1が励磁され、磁性体コア1内部の磁束密度 B 、すなわち磁性体コア1の磁化状態は、図4に示すような飽和特性を有するため、図3(b)に示すような時間変化をする。ピックアップコイル(検出コイル)10には、磁性体コア1の磁束密度 B の時間微分すなわち時間変化 dB/dt が存在する領域において、磁性体コア1の断面積 S 、ピックアップコイル10の巻き数 N に比例した出力電圧 $V_{pu} = NS \times dB/dt$ が生じる。ピックアップコイル10の出力電圧 V_{pu} は、図3(c)に示すような時間変化をする。磁性体コア1の磁束密度 B の時間変化 dB/dt が大きいほど、ピックアップ電圧波の高値は高く、パルス幅は狭くなり、より急峻なパルス電圧が得られる。図3(c)における時間間隔 t_1 は、外部磁界(被測定磁界) H_{ext} 、磁性体コア1の磁束密度 B が増加する時と減少する時との磁界の強さ H のずれ H_c 、励磁コイル9の作る磁界 H_{exc} 、三角波の周期 T 及びコイルのインダクタンスによる遅延時間 Td を用いて、式(1)のように表される。

[数1]

$$t_1 = \left[\frac{H_{exc} + H_c - H_{ext}}{H_{exc}} \right] \cdot \frac{T}{4} + Td \quad \dots(1) \text{式}$$

[0029] 同様に、図3(c)における時間間隔 t_2 は、式(2)のように表される。

[数2]

$$t_2 = \left[\frac{H_{exc} + H_c + H_{ext}}{H_{exc}} \right] \cdot \frac{T}{4} + Td \quad \dots(2) \text{式}$$

式(1)及び式(2)より、外部磁界に対する時間間隔の変化量 $t_2 - t_1$ は、式(3)のように表される。

[数3]

$$t_2 - t_1 = \frac{H_{ext}}{H_{exc}} \cdot \frac{T}{2} \quad \dots (3) \text{式}$$

[0030] 式(3)より、外部磁界に対する時間間隔の変化 $t_2 - t_1$ は、外部磁界 H_{ext} と励磁コイル9の作る磁界 H_{exc} の比 H_{ext}/H_{exc} および三角波の周期 T に依存することがわかる。外部磁界に対する感度 $S = d(t_2 - t_1) / dH_{ext}$ は、励磁コイル9に通電する電流振幅 I_{exc} 、励磁コイル9に流れる単位電流当たりの発生磁界すなわち励磁効率 α 、及び三角波の周期 T を用いて、 $S = T / (2 \cdot I_{exc} \times \alpha)$ で表される。よって、励磁電流が大きいほど、磁気素子 M_{12} の感度 S は小さくなる。三角波の周期 T が大きいすなわち励磁周波数 f_{exc} が小さいほど、磁気素子の感度 S は大きくなる。

[0031] 励磁効率 α は、フラックスゲート磁気素子を構成する磁性体コア1とコイルの巻き数によって決定される値である。励磁効率 α が大きいほど、同一感度、同一範囲を経ようとした場合には、少ない電流でフラックスゲート磁気素子を駆動することができる。また、式(3)において、 $H_{ext} = H_{exc}$ となるとき式(3)は0となり、このときの H_{ext} が測定磁界範囲の上限となる。 $H_{exc} = \alpha \times I_{exc}$ で表されることから、励磁効率 α が大きいほど、同一の電流で駆動した場合に広い測定磁界レンジを有することとなる。

この励磁効率 α は、励磁コイル9に電流を通電することにより、磁性体コア1に発生する磁束密度と、外部磁界により磁性体コア1に発生する磁束密度との比率を示すものである。励磁効率 α は、磁性体コア1のヒステリシス曲線の非飽和領域における磁気密度 B の外部磁界 H_{ext} に対する傾き dB / dH_{ext} と、同じく磁性体コア1の磁束密度 B の励磁コイルに流れる電流 I_{exc} に対する傾き dB / dI_{exc} の比率により決まり、式(4)で表される。

[数4]

$$\alpha = \frac{dB/dI_{exc}}{dB/dH_{ext}} \quad \dots (4) \text{ 式}$$

[0032] この式（４）から、励磁効率を大きくするためには、この式（４）の分母を小さくするか、分子を大きくする。

式（４）の分子を大きくする、すなわち、励磁電流により磁性体コア１に発生する磁束密度を大きくするためには、コイルの巻き数を増やすことが有効であるが、特に薄膜構造とされるフラックスゲート型磁気素子の場合は、コイル巻き数を増やすためには配線ピッチを狭くして巻き数を稼ぐ必要があるが、配線の微細化の限界や、微細化によるコイル抵抗の増大などにより、コイル巻き数を必要な状態で確保することは難しい。また、コイルを多層構造として巻き回す方法も考えられるが、構造が非常に複雑になり、多層成膜によってセンサを製造する際の製造上の精度維持が必要になって、製造コストが高くなるため好ましくない。

[0033] また、このようなフラックスゲート型磁気素子では、励磁三角波の歪みや磁性体コア１のＢ－Ｈ曲線の非直線性に起因してリニアリティ誤差が生じる。フラックスゲート型磁気素子には、このリニアリティ誤差を補償するためにフィードバックコイルが設けられている。そして常に、磁性体コア１における磁化状態が外部磁界が印加されていない時と同じ状態となるよう、フィードバックコイルに電流を流す。このように、外部磁界の変化に対応して変化するフィードバック電流を出力することにより、リニアリティ誤差が低減されたフラックスゲート型磁気素子を実現される。

[0034] これにより、フィードバックコイル２１では外部磁界 H_{ext} をキャンセルするような向きで大きさのフィードバック磁界 H_{fb} が発生して磁性体コア１内における磁界をキャンセルするとともに、このフィードバック磁界 H_{fb} が外部磁界 H_{ext} の変動に対応して連続して変動する。

[0035] なお、外部磁界 H_{ext} に応じてフィードバック電流を出力したが、この

フィードバック電流は、フィードバックコイル 21 のみならず、励磁コイル 9 に流すこともできる。この場合、励磁交流電流や検出信号にフィードバック電流を重畳することで実現が可能である。

さらに、フィードバック電流を励磁コイル 9 に流した場合には、フィードバックコイル 21 を励磁コイル 9 や検出コイル 10 と兼用させて、図 8 に示すように、独立したコイル配線としないことも可能である。

[0036] 次に、磁気素子 M12 について説明する。

[0037] 本実施形態の磁気素子 M12 は、例えば、phase-delay method を動作原理とするフラックスゲート型の磁気素子である。磁気素子 M12 の磁性体コア 1 の長手方向は、磁気素子 M12 の感磁方向と一致している。

[0038] 図 5 は、本実施形態に係るフラックスゲート型磁気素子を概略的に示す上面図である。図 6 は、図 5 におけるライン a-a' に沿って切った横断面図である。図 7 は、図 5 におけるライン b-b' に沿って切った正断面図である。

[0039] 本実施形態に係るフラックスゲート型磁気素子 M12 は、図 5～図 7 に示すように、磁性体コア 1 と、磁性体コア 1 に巻き回された励磁コイル 9、検出コイル 10、フィードバックコイル 21 を構成する第 1 配線層 4 及び第 2 配線層 7 とを有している。各々のコイルは、ソレノイド状のコイルである。

励磁コイル 9、検出コイル 10、フィードバックコイル 21 は、それぞれの配線が略平行になるように、三重らせんとして巻回されている。

[0040] フラックスゲート型磁気素子 M12 は、図 5～図 7 に示すように、非磁性の基板 M13 に、ソレノイドコイルの下側配線を形成するための第 1 配線層 4 と、第 1 配線層 4 の上に磁性体コア 1 とソレノイドコイルを絶縁するとともに第 1 配線層 4 と第 2 配線層 7 とが接続される部分に開口部 8 が設けられた第 1 絶縁層 5 と、第 1 絶縁層 5 の上に軟磁性体膜からなる磁性体コア 1 と、磁性体コア 1 の上に第 1 配線層 4 と第 2 配線層 7 の接続部に開口部 8 を設けて形成された第 2 絶縁層 6 と、第 2 絶縁層 6 の上に第 1 配線層 4 の隣接する配線どうしをその端部にて接続するように形成されたソレノイドコイルの

上側配線となる第2配線層7と、が形成されてソレノイドコイルを形成している。配線は、2つおきに隣接する配線と接続されるため、断面におけるソレノイドコイルのループは閉じない。

[0041] 第1配線層4および第2配線層7により形成された励磁コイル9、検出コイル10、フィードバックコイル21は、いずれも磁性体コア1において、それぞれ独立に巻き回されている。検出コイル10の両端には、外部と接続するための電極パッド11が形成されている。励磁コイル9の両端には、外部と接続するための電極パッド12が形成されている。フィードバックコイル21の両端には、外部と接続するための電極パッド13が形成されている。電極パッド11はセンスアンプMT12への端子に接続され、電極パッド12は、励磁電流発生回路MT11への端子へ接続され、電極パッド13は電流アンプMT15への端子にそれぞれ接続されている。

ここで、励磁コイル9、検出コイル10及びフィードバックコイル21は、いずれも巻き数が同じであることができる。特に、フィードバックコイル21は、そのピッチが均一になるように、磁性体コア1の全長にわたって巻回されている。

なお、これらの図は模式的に示されており、各コイルに関し、一部が省略されている。また、磁気素子M12の細部形状は、図に示された形状に限定されるものではない。

[0042] 磁性体コア1は、その周囲に巻き回された励磁コイル9に通電することにより励磁される。磁性体コア1が励磁されると、検出コイルには誘導電圧が発生する。励磁コイル9に対して、電極パッド12を介して時間的に変化する交流電流を外部より通電することにより磁性体コア1が交流励磁され、発生した磁束により検出コイル10に略パルス状の誘導電圧が発生する。この誘導電圧は検出コイル10から電極パッド11を通して制御用集積回路MT10に出力される。そして、上述したように、フィードバック電流が電極パッド13を介してフィードバックコイル21に印加される。

[0043] 本実施形態に示したものは一例であり、磁性体コア1、励磁コイル9、検

出コイル10及びフィードバックコイル21の配置は、上記の構成に限定されることなく、他の配置とすることができる。特に、励磁コイル9、検出コイル10、フィードバックコイル21は、三重らせん以外の配置も可能である。

[0044] 本実施形態の電流センサCS10は、バスバーB0に流れる電流を測定するための電流センサに用いる構造の一例とすることができる。

電流センサCS10は、図9に示すように、磁気素子M12および制御用集積回路MT10が搭載された実装基板M10a、2枚の磁気シールドCM1、CM2と、バスバーB01（電流路）とからなり、これらが一体とされている。例えば、これらを絶縁樹脂によってモールドしたパッケージ体やモジュール体としてもよい。

[0045] バスバーB01には、図9に示すように、その両端に結合穴B02が設けられ、この結合穴B02と対応するバスバーB00（電流路）に設けられた結合穴B03とを、ボルトナット等の結合手段B04、B05により結合することで、バスバーB01をも電流センサCM10に含むように一体に構成してもよい。この構成により各部品間の位置ずれを抑制することが可能となる。

実装基板M10aとしては、ガラスエポキシ基板などを採用することができる。

バスバーB0と磁気シールドCM2との間や、実装基板M10aや磁気シールドCM1との間には、接着剤などにより接合されており、さらに電流センサCS10の全体が樹脂成形品のキャップ等で覆われている。

[0046] 本実施形態の電流センサCS10においては、図10に示すように、磁気シールドCM1、CM2によって、バスバーB0および磁気素子M12が挟まれて配置されているのみであり、バスバーB0の両脇には磁気シールドが設けられていない。これにより、バスバーB0に流れる被測定電流Iが作る磁界に対して、磁気回路は一部開いた構造となるため、磁気抵抗は大きくなり、それに伴い、磁気シールド内に発生する磁束密度は小さくなるため、磁

気シールドは磁気飽和しにくくなる。

一方、バスバーの両脇に磁性体板が配されている構造（例えば、特許文献 1 の磁気シールド体 65、特許文献 2 のシールド 24）では、磁気シールド CM3 により、バスバー B0 に流れる被測定電流 I が作る磁界に対して、磁気回路は閉じた構造となるため、図 11 に示すように、磁気抵抗は小さくなり、それに伴い、磁気シールド内に発生する磁束密度は大きくなるため、磁気シールドは磁気飽和しやすくなる。

[0047] さらに、磁気シールド CM1 と磁気シールド CM2 とバスバーの両サイドの磁気シールドとを一体とした磁気シールド CM4 とした場合には、図 12 に示すように、磁気シールド CM4 の磁気飽和はより顕著となる。磁気シールドが磁気飽和してしまうと、磁気を誘引することができなくなる。

このように、磁気シールドが飽和する前後では、図 13B に示すように、磁気素子 M10 に流入する磁界が急峻に変化し、結果的に、ゼロ点から離れた領域では、バスバーに流れる電流値と磁気素子 M10 に流入する磁界が線形とならない、すなわち、バスバーに流れる電流値と磁気センサの出力値の線形性が乱れてしまう。

これに対し、図 10 に示すようにサイドが開いている磁気シールド CM1、CM2 のみの場合には、図 13A に示すように、磁気素子 M10 は線形性を維持することができる。

[0048] また、本実施形態においては、磁気シールド CM1、CM2 の間隔 Cmb を、磁気シールド CM1 と磁気シールド CM2 の幅よりも十分小さくすることで、外乱磁界の感磁方向成分を低減することができる。そのため、磁気素子 M12 に流入する外乱磁界 H_{exd} を排除し、バスバー B0 に流れる電流がつくる被測定磁界のみを精度良く検出することが可能となる。

[0049] 本実施形態においては、磁気シールド CM1、CM2 を設置することで、測定対象であるバスバー B0 以外に別の磁界発生源が存在するような場合でも、有効である。具体的には、後述する図 35 に示すように、測定対象外のバスバーから発生する磁界を磁気シールド CM1、CM2 へと誘引させ、磁

気素子M 1 2 に到達する外乱磁界を低減する。これにより、磁気シールドC M 1 , C M 2 が無い場合に比べて測定誤差を大幅に低減できる。

[0050] さらに、本実施形態における電流センサは、磁気素子M 1 2 が第3の磁性体板（減磁体）M 1 1 を有するものとすることもできる。

図1 4、図1 5は、本実施形態における電流センサの他の例を示す正断面図であり、図において、符号M 1 0 および1 0' は磁気センサを示している。なお、図中では磁気シールドC M 2 は省略されている。また、上記の実施形態の構成に対応する構成には、同一の符号を付してその説明を省略する。

[0051] 本実施形態における電流センサは、磁気素子M 1 2 が磁気センサM 1 0 として設けられており、この磁気センサM 1 0 は、図1 4 に示すように、非磁性基板M 1 3 上に薄膜を積層するプロセスにより形成された磁気素子M 1 2 と、非磁性基板M 1 3 と接合されたチップ状の軟磁性体からなる第3の磁性体板（減磁体）M 1 1 と、磁気素子M 1 2 とボンディングワイヤM 1 5 によって接続されたリードフレームM 1 4 と、それらを一体化するモールド体M 1 0 b から構成される。磁気素子M 1 2 は板状の減磁体（チップ状軟磁性体）M 1 1 の上に積層して形成されている。磁気センサM 1 0 の感磁方向は、非磁性基板M 1 3 の主面と平行である。

[0052] 例えばシリコン等とされる非磁性基板M 1 3 のバスバーB 0 側（裏面側）には、図1 4 に示すように、例えばN i F e などの金属軟磁性体材料や、C o 系アモルファス等、フェライト等からなるバルク状やシート状の軟磁性体チップとされる減磁体M 1 1 が磁気素子M 1 2 よりも広い領域を覆うように設けられる。

磁性体コア1 と離間位置に設けられた減磁体M 1 1 へと、被測定磁界が誘引されることによって磁気素子M 1 2 に流入する外部磁界H e x t を低減させるものである。減磁体M 1 1 による減磁効果により、磁気素子M 1 2 に印加される外部磁界H e x t を小さくすることができる。

[0053] 本例においては、図1 4 中のz 方向において、バスバーB 0、減磁体M 1 1、磁気素子M 1 2（磁性体コア1）、磁気シールドC M 1、の順になるよ

う配置されている。さらに、図 15 に示すように、減磁体 M 1 1 が磁気シールド C M 1 側に位置した磁気センサ M 1 0' とすることが可能である。

[0054] また、図 16 に示すように、磁気素子 M 1 2 の磁気シールド C M 1 側にもスペーサ M 2 3 を介して減磁体（第 4 の磁性体板） M 2 1 を設けてパッケージ M 2 0 a によりパッケージし、磁気素子 M 1 2 の上下方向両側に減磁体 M 1 1 と減磁体 M 2 1 を配置した磁気センサ M 1 0 “とすることも可能である。

[0055] 本発明の電流センサは、略平板状の 2 枚の磁気シールドで、バスバーおよび磁気素子を挟み込み、磁気シールド間の間隔を磁気シールド幅方向の寸法より十分小さくする場合に、バスバー表面と平行な 2 面のみにて磁気シールドを形成した構造となっているが、この磁気シールド間隔を短くすることで、バスバー幅方向端部に位置しバスバー厚さ方向に延在する磁気シールド側壁や前記磁気シールドの電流方向端部に位置しバスバー厚さ方向に延在する磁気シールド側部を設けることなく、電流センサ出力の誤差要因である外乱磁界が磁気素子へ流入し、測定に影響を及ぼすことを抑制できる。

[0056] 本発明の電流センサは、前記磁気素子 M 1 2 が、フラックスゲート型磁気素子とされてなる場合に、設定された感磁方向からずれた角度の磁界成分に対しては、磁界素子感度が弱くなる。第 1 および第 2 の磁性体板の中央付近に磁気素子 M 1 2 を配置することで、磁気素子に流入する外乱磁界を低減して感磁方向以外の成分だけが磁気素子 M 1 2 に流入する。さらに、外乱磁界が磁気素子に到達したとしても、磁気素子においては、外乱磁界を検出しないこととすることができる。これにより、バスバーに流れる電流が作る被測定磁界のみを精度良く検出することが可能となる。

[0057] 本発明は、前記磁気シールドのバスバー幅方向における寸法が、前記バスバー幅方向寸法と等しく設定されてなる場合に、外乱磁界の遮蔽と小型化を同時におこなうことができる。

[0058] 本発明の電流センサによれば、磁気シールドが外乱磁界による測定誤差を抑制するとともに、小型化を図って測定精度を向上することができる。さら

に磁気シールド等の配置形状などを調整することによりバスバーから発生するセンサ素子への磁界強度を調整することが可能である。これは通常、フラックスゲート型の磁気素子のような大きな磁界が印加された場合に、磁気コアが磁気飽和してしまうような磁性材料が磁気素子中に存在する場合において非常に効果的である。よって、磁気コアが磁気飽和することで測定範囲（測定レンジ）が制限されてしまうような磁気素子を用いた電流センサにとって効果的である。

[0059] 次に、図33Aに示すように、 z 方向に、磁気シールドCM2、バスバーB0、磁気素子M12、減磁体M11、磁気シールドCM1、が順に配置されている構造について説明する。

[0060] 先ず、減磁体M11による磁気素子M12へ流入する磁束の低減状態を図34に示す。図において、縦軸は磁気素子M12に流入する磁束密度、横軸は、図1で示した距離寸法Cmaに対応しており、磁気シールドCM1と磁気素子M12の搭載された磁気センサM10'との離間距離である。図34中の中抜き四角が減磁体有り、黒菱形が減磁体無し、また黒三角がこれら減磁体有り／減減磁体無しの比で表される減磁率を示している。

[0061] 磁気センサM10'では、図34に示すように、減磁体M11を設けたことにより、磁気素子M12に流入する磁界強度が $1/2 \sim 1/4$ 程度に低減される。これにより、磁気素子M12に流入する磁界強度を低減することができる。

同時に、減磁体M11がない場合にはバスバーB0から磁気シールドCM1にかけて z 方向に磁界強度の分布に大きな勾配ができるが、第3の磁性体板M11によりこの勾配が緩和され、磁気センサM10'の搭載可能な位置範囲を大きくすることができる。

[0062] 減磁体M11と磁気素子M12との配置としては、図33Aに示すように、減磁体M11に対して磁気素子M12がバスバーB0側にある配置、つまり、磁気素子M12に対して減磁体M11が磁気シールドCM1側にある磁気センサM10'の配置が好ましい。この理由について以下に示す。

[0063] 図35は、減磁体を有する構造において、バスバーに電流を流した際と電流を遮断した際における残留磁界の状態を示す模式図である。図36は、減磁体が磁気シールドとバスバーから等距離の位置に配置された場合において、磁気素子M12の減磁体からの距離と、磁気素子M12に印加される磁束密度との関係を示したものである。図36において、(a)菱形で示すデータは、図33Aに示した、減磁体M11、磁気素子M12、バスバーB0の配置順のもの、(b)黒正方形で示すデータは、図33Bに示した、磁気素子M12、減磁体M11、バスバーB0の配置順のものである。

バスバーB0に紙面奥側から手前側の方向に流れる電流の場合、図35の左側に示すように、左回りの誘導磁界が発生した状態となる。

次いでこの電流を遮断すると、図35右側に示すように、磁気シールドCM1、減磁体M11では、いずれも同方向(右向き)となる残留磁界を生じ、磁気シールドCM2では逆方向(左向き)となる残留磁界を生じる。

図35右側に示すように、磁気シールドCM1と減磁体M11との間では残留磁界の影響が強め合う。これに比べて、バスバーB0と減磁体M11の間では残留磁界の影響はそれほど大きくない。

[0064] 図33Bに示すように、磁気シールドCM1と減磁体M11の間位置に磁気素子M12を配置した場合には、磁気シールドCM1および減磁体M11の残留磁界は磁気素子M12位置において互いに強めあう方向となる。このため、残留磁界によるヒステリシス誤差が大きく発生する。加えて、このセンサ配置では、磁気素子M12が磁気シールドCM1と減磁体M11とに挟まれた状態となっている。そのため、図36にデータ(b)として示すように、バスバーB0を流れる電流Iにより発生した磁界が磁気素子M12には流入しにくい。これにより、測定レンジを拡大する目的としての減磁効果は高くなるが、残留磁界による影響が顕著に出てしまう。

[0065] 一方、図33Aに示すように、バスバーB0と減磁体M11との間に磁気素子M12を搭載するセンサ配置とした場合には、減磁体M11および磁気シールドCM2の残留磁界は磁気素子M12位置において互いに打ち消しあ

う。これにより、残留磁界によるヒステリシス誤差は、図 3 3 B に示した磁気素子 M 1 2 の配置よりは小さくなる。また、この磁気素子 M 1 2 の配置では、図 3 6 にデータ (a) として示すように、バスバー電流 I により発生した磁界が磁気素子 M 1 2 に流入しやすく、減磁効果としては図 3 3 B に示したセンサ配置よりは小さくなるが、その分 S/N 比が良好であり、残留磁界の影響は小さくなる。よって、減磁体 M 1 1 と磁気素子 M 1 2 との配置としては、図 3 3 A に示すように、減磁体 M 1 1 に対して磁気素子 M 1 2 がバスバー B 0 側にある配置、つまり、磁気素子 M 1 2 に対して減磁体 M 1 1 が磁気シールド C M 1 側にある磁気センサ M 1 0' の配置が好ましい。

[0066] しかし、図 3 3 A に示すように、バスバー B 0 と減磁体 M 1 1 の間位置に磁気素子 M 1 2 を搭載するセンサ配置であっても、減磁体 M 1 1 中の磁束密度が大きくなるような構成であるとヒステリシス誤差が大きくなってしまう。

[0067] 図 3 7 に減磁体 M 1 1 と磁気素子 M 1 2 との離間距離を固定した磁気センサ M 1 0' において、磁気シールド C M 1 と減磁体 M 1 1 との離間距離を変更した場合における、減磁体 M 1 1 中の磁束密度（左側の縦軸）と残留磁界により磁気センサに流入する残留磁界の強度（右側の縦軸）について示す。

この磁気センサ M 1 0' では、図 3 7 に示すように、センサ配置が磁気シールド C M 1 に近くなるほど、残留磁界の影響が小さくなる。なお、磁気シールド C M 1 に減磁体付磁気センサ M 1 0' を近づけることで、図 3 4 においても磁気センサ C M 1 0' へ流入する磁束密度を小さくすることが可能となることが解る。これらから、磁気センサ M 1 0' への磁束密度を低減させつつ、ヒステリシス誤差も抑制できる構成とすることが可能となる。

[0068] 図 3 8 A は、z 方向における磁気素子 M 1 2 の設置位置（横軸）に対して磁気素子 M 1 2 に流入する磁束密度（縦軸）を示している。減磁体 M 1 1 が不在場合を実線で示し、減磁体 M 1 1 を設けた場合を一点鎖線で示すグラフである。

この電流センサでは、図 3 8 A に示すように、磁気センサ M 1 0' におい

て減磁体M 1 1 を設けたことにより磁気素子M 1 2 に流入する磁界強度を磁気素子M 1 2 の動作良好範囲内となるように低減することができる。同様に、図3 8 Bに示すように、減磁体M 1 1 を設けて磁気素子M 1 2 に流入する磁界強度範囲を低減して小さくすることにより、バスバーB 0 幅方向（CM方向）における設置マージンを確保することができる。

[0069] 具体的には、図3 8 Bに示すように、CM方向における磁気素子M 1 2 の設置位置に対して磁気素子M 1 2 に流入する磁束密度の変化として、減磁体M 1 1 がない場合を実線で、示し、減磁体M 1 1 を設けた場合を一点鎖線で示す。このように、減磁体M 1 1 を設けなかった場合には、図3 8 Aの実線に示すように、磁気シールドCM 1, CM 2 の幅方向（CM方向）の中央付近に磁気素子M 1 2 を位置すれば磁気素子M 1 2 動作良好範囲となる磁束密度にすることができるが、磁気シールドCM 1 の端部付近に磁気素子M 1 2 を位置した場合には磁気素子M 1 2 動作良好範囲から外れてしまう場合がある。

これに対し、減磁体M 1 1 を設けた場合には、図3 8 Bの一点鎖線に示すように、磁気素子M 1 2 の位置を、磁気シールドCM 1, CM 2 の幅方向（CM方向）の中央付近から端部付近までで、磁気素子M 1 2 動作良好範囲となる磁束密度にすることができる。

このようなバスバーB 0 幅方向における磁気素子M 1 2 の設置位置に掛かる特性は、磁気シールドCM 1, CM 2 のバスバーB 0 長さ方向、つまり、z方向とCM方向に直交する方向においても、同様の特性を有する。

[0070] 次に、磁気シールドCM 1, CM 2 に直交する法線方向、つまり、z方向の外乱磁界 H_{exd} の影響について述べる。

図3 9 Aは、z方向の外乱磁界 H_{exd} の影響を示す模式断面図で減磁体無し傾斜無しの状態を示すものである。図3 9 Bは、z方向の外乱磁界 H_{exd} の影響を示す模式断面図で減磁体無し傾斜有りの状態を示すものである。図3 9 Cは、z方向の外乱磁界 H_{exd} の影響を示す模式断面図で減磁体有り傾斜有りの状態を示すものである。

[0071] 図39Aに示すように、磁気シールドCM1、CM2と磁気素子M12とが傾いていない場合、つまり、磁気素子M12の感磁方向が、磁気シールドCM1、CM2の主面で規定されるCM方向と平行な場合には、磁気シールドCM1、CM2の主面に直交する外乱磁界 $H_{e \times d}$ が流入した場合、この外乱磁界 $H_{e \times d}$ の方向が磁気素子M12の感磁方向と直交するため、磁気素子M12は外乱磁界 $H_{e \times d}$ を検知しない。

[0072] これに対し、図39Bに示すように、磁気シールドCM1、CM2と磁気素子M12とが傾斜した場合、つまり、磁気素子M12の感磁方向が、磁気シールドCM1、CM2の主面で規定されるCM方向に対して角度 θ を有する場合には、磁気シールドCM1、CM2の主面に直交する外乱磁界 $H_{e \times d}$ が流入した場合、この外乱磁界 $H_{e \times d}$ の方向が磁気素子M12の感磁方向と直交しないため、磁気素子M12は外乱磁界 $H_{e \times d}$ の感磁方向成分 $H_{e \times d - c}$ を検知してしまう。

[0073] ここで、角度 θ で傾斜した磁気素子M12に減磁体M11を設けた場合には、磁気素子M12とM11とが平行に設けられて磁気センサM10'とされているため、傾斜した磁気センサM10'に外乱磁界 $H_{e \times d}$ が流入した場合、図39Cに示すように、減磁体近傍では、外乱磁界 $H_{e \times d}$ の磁気ベクトルの向きが減磁体M11の平面方向に対して垂直に近い方向に曲げられるため、減磁体M11と磁気素子M12の感磁方向が平行であれば、磁気センサM10'に流入する外乱磁界 $H_{e \times d}$ の磁気ベクトルも磁気素子M12の感磁方向に対して垂直に近くなる。

これにより、電流センサの組立て時に磁気シールドCM1、CM2の幅方向と磁気素子M12の感磁方向が非平行となる場合であっても、減磁体M11があることで磁気素子M12角度と磁気シールドCM1、CM2の非平行に起因する誤差を低減させることが可能である。

[0074] 本発明の電流センサは、前記減磁体が、比透磁率が10000以上の材料から構成されている場合に、外乱磁界や残留磁界を十分に誘引して、被測定磁界を正確に測定することが可能となる。

[0075] 以下、本発明に係る電流センサの第2実施形態を、図面に基づいて説明する。

[0076] 図17は、本実施形態における電流センサを示す模式図であり、図において、符号CS10'は電流センサを示している。

[0077] 本実施形態の電流センサCS10'は、2枚の磁気シールドCM1、CM2の間において、z方向（厚さ方向）の中央に位置するバスバーB0から見て、それぞれの磁気シールドCM1の側とCM2側となる両側に1つずつの磁気素子M12、M12'を有する。

つまり、バスバーB0の磁気シールドCM1側に磁気素子M12が位置し、バスバーB0の磁気シールドCM2側に磁気素子M12'が位置している。

[0078] 本実施形態においては、磁気素子M12と磁気シールドCM1、および、磁気素子M12'と磁気シールドCM2が、バスバーB0から見て対称な位置に配されており、バスバーB0に流れる電流Iの作る磁界は、磁気素子M12の位置と磁気素子M12'の位置とで大きさが等しく、向きが逆となっている。これらの磁気素子M12、M12'からの出力信号から両者の差を算出することで、外乱磁界 H_{exd} の影響を排除して、被測定磁界 H_{ext} を正確に算出することができる、これにより、より一層測定精度を向上することが可能となる。

具体的には、後述する実験例で測定した測定誤差率を、1つの磁気素子の場合に比べて半分以下、4割程度以下に低減することが可能となる。

[0079] 以下、本発明に係る電流センサの第3実施形態を、図面に基づいて説明する。

[0080] 図18は、本実施形態における電流センサCS20を示す模式断面図、図19は電流センサCS20を示す上面図であり、本実施形態において上述した実施形態における構成と対応する構成には同一の番号を付してその説明を省略する。

[0081] 本実施形態における電流センサCS20は、図18、図19に示すように

、バスバーB01、磁気素子M12、制御用集積回路MT10、磁気シールドCM1、CM2を、一体となるようにモールド体CS20a内部に設けている。

[0082] 本実施形態における電流センサCS20では、樹脂等により所定形状に形成されたモールド体CS20aの内部にバスバーB01が位置している。

モールド体CS20aには、あらかじめ、磁気シールドCM1や実装基板M10aを配置する凹部、磁気シールドCM2を配置する凹部、平面視してバスバーB01と重ならない部分に位置する凹部等が設けられ、これら凹部の形状が、図1に示した距離寸法Cma、Cmb、Cme、Cmgが所定の値に設定されるように制御される。

[0083] モールド体CS20aには、磁気素子M12および制御用集積回路MT10等が実装された実装基板M10a、実装基板M10aを外部に接続するための外部接続端子CS20e、磁気シールドCM1、上部カバーCM5、磁気シールドCM2および下部カバーCM6が固定されて、図19に示す電流センサCS20となっている。

[0084] 本実施形態によれば、樹脂製モールド体CS20aにより、図1に示した距離寸法Cma、Cmb、Cme、Cmgをあらかじめ所定の値に設定することができる。

[0085] 以下、本発明に係る電流センサの第4実施形態を、図面に基づいて説明する。

[0086] 図20は、本実施形態における電流センサを示す模式断面図であり、図において、符号CS30は電流センサを示している。本実施形態において上述した実施形態における構成と対応する構成には同一の番号を付してその説明を省略する。

[0087] 本実施形態における電流センサCS30は、図20に示すように、磁気素子M12がSIP (Single Inline Package) 型の磁気センサMS30とされて、実装基板M10aとは別にモールド体CS20aに設けた凹部CS30f内部に埋め込まれている。

[0088] 本実施形態における電流センサCS30は、図20に示すように、モールドCS30aに、バスバーB01、磁気シールドCM1、磁気センサMS30、接続端子CS30e、外部接続端子CS20e、磁気シールドCM1、制御用集積回路MT10のマウントされた実装基板M10a、接続端子CS30f、上部カバーCM5、磁気シールドCM2、下部カバーCM6が固定されている。

[0089] 本実施形態によれば、樹脂製モールドCS30aにより、図1に示した距離寸法Cma、Cmb、Cme、CMgをあらかじめ所定の値に設定することができる。

[0090] 以下、本発明に係る電流センサの第5実施形態を、図面に基づいて説明する。

[0091] 図21は、本実施形態における電流センサを示す模式断面図であり、図において、符号CS40は電流センサを示している。本実施形態において上述した実施形態における構成と対応する構成には同一の番号を付してその説明を省略する。

[0092] 本実施形態における電流センサCS40は、図21に示すように、磁気素子M12がSIP (Single Inline Package) 型で制御用集積回路MT10と一体とされた磁気センサMS40とされてモールド体CS20aに設けた凹部内部に埋め込まれており、実装基板M10aは設けられていない。

[0093] 本実施形態における電流センサCS40は、モールドCS40aに、バスバーB01、磁気センサMS40、接続端子CS40e、磁気シールドCM1、上部カバーCM5、磁気シールドCM2、下部カバーCM6が固定された電流センサCS40となっている。

[0094] 本実施形態によれば、樹脂製モールドCS40aにより、図1に示した距離寸法Cma、Cmb、Cme、CMgをあらかじめ所定の値に設定することができる。

[0095] 以下、本発明に係る電流センサの第6実施形態を、図面に基づいて説明する。

[0096] 図22は、本実施形態における電流センサを示す模式断面図であり、図において、符号CS50は電流センサを示している。本実施形態において上述した実施形態における構成と対応する構成には同一の番号を付してその説明を省略する。

[0097] 本実施形態における電流センサCS50は、図22に示すように、磁気素子M12がSIP (Single Inline Package) 型で制御用集積回路MT10と一体とされた磁気センサMS50とされてモールド体CS20aに埋め込まれており、実装基板M10aは設けられていない。

[0098] 本実施形態における電流センサCS50は、モールドCS50aに、バスバーB01および磁気センサMS50、接続端子CS40e、磁気シールドCM1、上部カバーCM5、
磁気シールドCM2、下部カバーCM6が固定されている。

[0099] 本実施形態によれば、樹脂製モールドCS50aにより、図1に示した距離寸法Cma, Cmb, Cme, CMgをあらかじめ所定の値に設定することができる。

[0100] 以下、本発明に係る電流センサの第7実施形態を、図面に基づいて説明する。

[0101] 図23は、本実施形態における電流センサを示す断面図、図24は、本実施形態における電流センサのバスバーを示す上面図であり、図において、符号CS60は電流センサを示している。本実施形態において上述した実施形態における構成と対応する構成には同一の番号を付してその説明を省略する。

[0102] 本実施形態における電流センサCS60は、図23に示すように、バスバーB60 (電流路) の中央部分にスリットB63が設けられており、被測定電流を分岐電流I1と分岐電流I2とに分流している。

このスリットB63は、図24に示すように、平面視して少なくとも磁気素子M12の一部と重なるように設けられ、望ましくは、平面視して磁気素子M12の全てが重なるようにすることが好ましい。

[0103] 本実施形態の電流センサCS60によれば、スリットB63によって、バスバーB60を流れる被測定電流Iが分岐されるので、スリットB63付近において、図23に実線で示す分岐電流I1の作る磁界Hext1と、図23に破線で示す分岐電流I2の作る磁界Hext2と、が打ち消しあう。これにより、測定する磁界強度が小さくなる。

[0104] この結果、図25にシミュレーション結果を示すように被測定電流Iの作る磁界が小さくなる減磁領域Mdを、スリットB63付近に形成することになる。減磁領域Mdは、図25に斜線で示すように、少なくともスリットB63中央付近を含み、測定電流I方向視した断面において、磁気シールドCM1、磁気シールドCM2にそれぞれの端部が接触するX字状の範囲となる。これは、図23で示したように、スリットB63によって分岐したバスバーB61およびバスバーB62のそれぞれに流れる分岐電流I1、分岐電流I2が作る磁界Hext1、磁界Hext2どうしが打ち消しあう領域に相当し、バスバーB61およびバスバーB62を中心としてその周囲に形成した閉塞線において、磁気シールドCM1、磁気シールドCM2内に位置する部分およびその近傍となっている。

この減磁領域Md内に磁気素子M12を配置することで、磁気素子M12が備えている磁気コアの磁気飽和を起こすことなく、測定精度を維持することと、より大きな電流に対応して測定をおこなうことができる。これは、図26に示すように、スリットのないバスバーB0における減磁領域Mdが磁気シールドCM1の近傍の狭い範囲にとどまっている状態と比較することで明らかとなる。これにより、磁気素子M12の設置における設置可能範囲を拡大することができる。

なお、スリットB63中央付近においては、バスバーB61に流れる分岐電流I1が作る磁界Hext1と、バスバーB62に流れる分岐電流I2が作る磁界Hext2とが打ち消し合っているため、この部分に磁気素子M12を設けることで、磁気素子M12に流入する磁界を極めて小さくすることができる。

[0105] なお、上記の実施形態においては、図27に示すように、電流センサCS10がプリント配線基板などの実装基板M10aを有する場合、この実装基板M10aのバスバーB0側にGNDとなる領域Gndを設けておくことで、バスバーB0を介して伝播してくる高周波ノイズの影響を低減して、測定精度を高めることができる。

この場合、GNDとなる領域としては、実装基板M10aのバスバーB0側にこの実装基板M10aより大きなGNDプレーンGndを設けることもできる。この場合、GNDプレーンGndはSUS、Cu等磁気シールドに比べて導電率が高い材料からなるものとすることができる。この場合、磁気素子M12とバスバーB0との間にGNDプレーンGndが位置することが重要である。

[0106] 本発明の電流センサにおいて、磁気シールドは外部磁界による測定誤差を抑制するだけでなく、2枚の磁気シールドどうしの配置位置や磁気素子の配置位置、磁気素子との積層方向に平面視した磁気シールド板の輪郭形状等を調整することによりバスバーから発生する磁気素子への磁界強度を調整することが可能である。これは通常、大電流が流れるバスバーから発生する大きな磁界により磁気飽和してしまうような磁性材料が磁気素子中に存在するフラックスゲート型素子には有意である。よって、磁気飽和にて測定対象の測定範囲が決まってしまうような磁気素子の測定範囲を広げることができる。

[0107] また、フィードバックコイルに電流を流す場合にはフィードバックコイルに流す電流量を低減でき、消費電流を抑えることが可能である。

さらに、本発明では、磁気素子とバスバーと磁気シールド間の互いの間隔Cma、Cmb、Cme、Cmgを調整することにより、バスバーから発生する磁気素子への磁界強度を調整することが可能となる。

本発明の電流センサが備えている磁気素子は、は単純な積層構造であるため、組立てが容易であり、複数のセンサを同時に作成することが可能である。また、本発明の構造は積層方向に対して、従来のセンサと比較し、大幅な小型化が可能である。

[0108] 以下、本発明に係る電流センサの第8実施形態を、図面に基づいて説明する。

[0109] 図40は、本実施形態における電流センサCS70を示す模式断面図、図41は電流センサCS70における減磁体M11の配置を示す正断面図であり、本実施形態において上述した実施形態における構成と対応する構成には同一の番号を付してその説明を省略する。

[0110] 本実施形態における電流センサCS70は、図40に示すように、バスバーB01、磁気素子M12、制御用集積回路MT10、磁気シールドCM1、CM2を、一体となるようにモールド体CS70a内部に設けている。

[0111] 本例の磁気素子M12は、図14に示した例に対してバスバーB01からの積層順が逆となる配置、つまり、図41に示すように、磁気素子M12のバスバーB01側に配置される図中のz方向において、バスバーB01、磁気素子M12（磁性体コア1）、減磁体M11、磁気シールドCM1、の順になるよう配置されている。

[0112] 本実施形態における電流センサCS70は、モールド体CS70aに、バスバーB01、磁気シールドCM1、磁気シールドCM2、減磁体M11と磁気素子M12を積層したパッケージおよび制御用集積回路MT10等を実装して組み立た実装基板M10a、実装基板M10aを外部に接続するための外部接続端子CS20e、磁気シールドCM1、上部カバーCM5、下部カバーCM6が固定される。ここで、樹脂からなるハウジング部材（モールド体）CS70aには、実装基板M10aが配置される部分に凸部を設けて、この該基板に形成した孔部もしくは切欠き部に圧入することもできる。このように、基板とハウジング部材とに位置固定手段を設けて、実装基板M10a上に搭載した磁気素子M12とハウジング部材CS70a、および、磁気素子M12とハウジング部材CS70aに固定されたバスバーとの位置決めをおこない、これらの位置関係を精度良く位置決めすることが可能となる。また、コネクタのピンは、実装基板M10aを配置した後に実装基板M10aに設けたスルーホールに貫通させ、半田付けすることで、コネクタを一

体化した電流センサとすることもできる。

- [0113] 図40に示す本実施形態によれば、図33Bにタイプ(b)として示すように、減磁体M11の磁気シールドCM1とは反対側の位置に磁気素子M12を配置するので、図35右側に示す磁気シールドCM1と減磁体M11との間で残留磁界の影響が強め合うタイプに比べて残留磁界の影響を低減することができる。
- [0114] 本実施形態によれば、バスバーB01と減磁体M11との間に磁気素子M12を搭載するセンサ配置、つまり、磁気素子M12に対して減磁体M11が磁気シールドCM1側にある配置として磁気センサM10を組み付けるので、減磁体M11および磁気シールドCM2の残留磁界は磁気素子M12位置において互いに打ち消しあう。これにより、残留磁界によるヒステリシス誤差を小さくすることが可能になる。また、この磁気素子M12の配置では、バスバー電流Iにより発生した磁界が磁気素子M12に流入しやすく、減磁効果としては小さくなるが、その分SN比が良好であり、残留磁界の影響は小さくすることができる。
- [0115] なお、本実施形態では上記のように組み立てたが、組立の順番についてはこれに限ったものではなく、前後することも可能である。また、図45においては、コネクタの向きは実装基板M10a側からバスバーB01側を見た方向となっているが、これに限ったものではなく、用途に応じて種々の方向を向いていても良い。また、磁気素子M12および減磁体M11を含むパッケージと回路基板、バスバーB01と磁気シールドCM1、CM2の配置がこのようになっていれば、ハウジング樹脂の凸部や凹部、カバーの取り付け向きはここに示した限りではなく、機器側への組み付け方法等によって様々な形態が考えられる。
- [0116] また、本実施形態においては、リード付のパッケージを図示しているが、ノンリードタイプのパッケージ、たとえばQFN (Quad Flat Nonlead) やSON (Small Outline Nonlead)、CSP (Chip Size Package) などであってもよい。

[0117] 図33Aにタイプ(a)として示した減磁体M11とバスバーB0の間に磁気素子M12を配置した構造において、磁気シールドCM1にて発生する残留磁界は、図35の右側の図に示すような状態となる。磁気素子M12、および減磁体M11側の磁性体板(磁気シールド)CM1において発生する残留磁界は、減磁体M11に誘引されるため、磁気素子M12にはほとんど印加されず、磁気素子M12には、減磁体M11により発生する残留磁界と、バスバーB0と反対側に配置された磁性体板(磁気シールド)CM2により発生する残留磁界が印加される。これらの残留地場は方向が逆向きのため打消し合うことになるが、磁気素子M12と、バスバーB0と反対側に配置された磁性体板(磁気シールド)CM2との距離が、減磁体M11と磁気素子M12の距離と比べて十分に大きい場合には、磁性体板(磁気シールド)CM2からの残留磁界の影響は十分に小さくなり、減磁体M11による残留磁界の成分が支配的になる。

[0118] したがって、減磁体M11を構成する磁性体に、保磁力が小さく、残留磁界の小さい軟磁性体を用いることで、ヒステリシスの小さい電流センサを実現することができる。このような軟磁性体としては、Niを77%以上含むパーマロイ(たとえばPCパーマロイ)やCo系アモルファス材料などが挙げられる。

このように、減磁体として保磁力および残留磁界の小さい軟磁性体を用いた場合、電流センサの出力に影響するヒステリシスは、前述のとおり、減磁体のヒステリシスが支配的になるため、シールド板には比較的ヒステリシスの大きい材料を用いたとしてもヒステリシスの小さい電流センサを実現することができる。そのため、安価な材料を使用することができ、コストを抑えることが可能である。このような材料としては、たとえば、電磁軟鉄や珪素鋼板などが挙げられる。

[0119] 以下、本発明の実験例について説明する。

[0120] <実験例A>

実験例1として、磁気素子位置での磁界強度の相対比を磁気シールドCM

1, CM2の間隔CMbを変化させて測定した。シールド間隔CMbが4mmのときにおける磁気強度を基準として規格化した結果を図28に示す。

この結果から、シールド間隔が狭くなるほどセンサ部の磁界強度は小さくなる。

実験例2として、磁気シールドCM1, CM2の間隔CMbを6mmに固定し、バスバーまでの距離CMeを変化させて磁気素子位置での磁束密度を測定した。その結果を図29に示す。

[0121] この結果から、上部シールドに近づく程、磁界強度は小さくなる。

実験例3として、磁気素子位置での磁界強度の相対比を、バスバーの幅CMbcを変化させて測定した。このとき、磁気シールドCM1, CM2の幅CM1c、CM2cは25mmで固定した。バスバーの幅CMbcが10mmのときにおける磁気強度を基準として規格化した結果を図30に示す。

この結果から、バスバー幅が大きくなるほど、センサ部の磁界強度は小さくなる。

[0122] これらの結果から、磁気シールドCM1, CM2の幅CM1c、CM2cと、磁気素子の幅CMdに対して、

$$CM1c = CM2c \gg CMd$$

の関係が成り立ち、バスバー幅CMbcと磁気素子の幅CMdに対して、

$$CMbc \gg CMd$$

の関係が成り立っている場合に、磁気素子M12位置での磁界強度の設定には、図1に示すCMa、CMb、CMbcの設定が及ぼす影響が大きくなることがわかる。

[0123] また、実験例4として、図31に示すように、測定対象であるバスバーB0に対して平行なバスバーを、磁気シールドCM1, CM2の面内方向となる位置に設け、被測定電流値の誤差率を測定した。この際、下部磁気シールドCM2を取り去り上部磁気シールドCM1のみの状態と、磁気シールドのない状態との比較もおこなった。この場合の各部の諸元を図31に、誤差率の測定結果を図32に示す。

これにより、測定対象外のバスバーから発生する磁界が磁気シールド中を通るために、磁気シールドが無い場合に比べて磁気シールドを設置することで測定誤差を大幅に低減できることが確認された。

[0124] なお、図32の結果では、隣接バスバー電流と被測定電流の比が大きいほど(隣接バスバー電流が被測定電流に比べ大きいほど)、誤差は大きくなっているが、これは隣接バスバーから発生する磁界を完全には除去できていないためである。しかし、図32程度の誤差であれば、大電流が発生するようなバッテリー等へ接続する電源線のバスバーに適用する場合、誤差値は問題にならないレベルである。

[0125] また、磁気シールドCM1と磁気シールドCM2との離間距離CMbとに対する比($CM1c/CMb$)は、大きいほど磁気素子に流入する外乱磁界が低減できるため望ましい。

[0126] また、磁気シールドCM1、CM2の厚さが小さすぎる場合、バスバーB0から発生する磁界により磁気飽和し易いため、1mm以上の厚さであることが好ましい。加えて、バスバーB0の幅方向(CM方向)において、磁気シールドCM1、CM2の中央位置とバスバーB0の中央位置および磁気素子M12の中央位置がすべて一致していることが望ましい。また、組み立て時の位置調整の観点から、磁気シールドCM1、CM2の幅寸法CM1c、CM2cはバスバーB0の幅寸法CMbcと同程度とすることがより望ましい。

[0127] これらにより、本発明によれば、電流センサに印加される磁界強度を調整でき、高感度ではあるが磁界ダイナミックレンジが小さいような磁気センサも使用することが可能である。特に、フラックスゲート方式ではセンサに入る磁界が小さいほど、消費電流が小さくすることが可能となることから、シールド幅CM1c、CM2c・バスバー幅CMbc・シールド間隔CMbを小さくし、小型化をするような構成、すなわち、磁気素子位置での磁界が比較的大きくなる構成であっても、上部磁気シールドCM1と磁気素子距離CMaを調整することで磁気素子位置での磁界を低減できることがわかる。

[0128] <実験例B>

実験例Aと同様にして作製した電流センサの測定結果を図4 2に示す。

図4 2は、本実験例に関係して、電流センサにおける測定電流と出力誤差の関係を示したグラフである。

ここでは、電流センサとして、減磁体M 1 1を含まないフラックスゲート型磁気素子M 1 2を実装した実装基板M 1 0 aを、バスバーB 0表面から1 . 4 mmの距離に実装基板M 1 0 a表面が来るように配置し、磁気シールドC M 1 , C M 2により挟み込んだ構造とされている。また、バスバーB 0には、図2 4に示す構造と同様に、測定電流によって磁気素子部分に発生する磁界を抑制するために中央部にスリットB 6 3が設けられており、その幅は7 . 5 mmである。

[0129] 一方、図4 3は、本実験例に関係して、電流センサにおける測定電流と出力誤差の関係を示したグラフである。

ここでは、電流センサとして、減磁体M 1 1を積層したフラックスゲート型磁気素子M 1 2を実装した実装基板M 1 0 aを、バスバーB 0表面から2 . 0 mmの位置に実装基板M 1 0 a表面が来るように配置し、磁気シールドC M 1 , C M 2により挟み込んだ構造としている。こちらも、同様に、バスバーB 0には同様にして測定電流によって磁気素子M 1 2に加わる磁界を抑制するために中央部にスリットB 6 3を設けており、その幅は2 . 5 mmである。

[0130] 図4 2および図4 3に示したいずれの場合においても、バスバーB 0の材質はCuで、その板厚は1 . 2 mmとし、磁気シールドC M 1 , C M 2等の磁気シールド材料は、PCパーマロイを用い、その板厚は1 . 6 mmである。

[0131] 図4 2および図4 3に示したいずれの場合においても、磁気素子M 1 2として測定に用いたフラックスゲート型磁気素子の測定可能な磁界レンジは±1 m T程度であるため、電流により発生する磁界がこの範囲に入るように、スリットB 6 3幅、および、磁気センサM 1 0とバスバーB 0との距離、つ

まり、実装基板M10aとバスバーB0との距離を調整する。

[0132] このように、フラックスゲート型磁気素子を用いた場合、磁気素子の測定可能な磁界レンジに制限があるため、電流により発生する磁界を減少させるための構造が必要であり、そのための方法としては、磁気シールドを設けることや、バスバーにスリットを設けることで磁界を低減することが可能であるが、このような方法を用いた場合、磁気シールドによるヒステリシス誤差が大きくなるといった問題がある。一方で、同様の構成にした場合において、磁気素子に軟磁性体からなる減磁体を積層し、磁気シールド、バスバー、磁気素子、減磁体、磁気シールドの順に並ぶような構成にすることによって、磁気シールドによるヒステリシス誤差を低減することが可能になる。

[0133] また、軟磁性体からなる減磁体と磁気素子の組み立ては、一般的な半導体の組み立てプロセスを用いて組立を行うことができる。そのため、磁気素子と減磁体の位置関係は、磁気素子を形成した基板の厚みとダイボンドの精度により決定されるが、これらの精度は一般的に数 μm ～数10 μm 程度であり、高精度に位置決めすることが可能である。

[0134] 一方、バスバーや磁気シールド体、ハウジングの寸法精度や組立精度は、一般的には50～100 μm 程度であり、前者と比べて大きい。電流により発生する磁界を磁気シールド体やバスバーのスリット、及びこれらの組み付け位置により制御する場合、電流の作る磁界のシールド内の位置における勾配が大きく、位置ずれによる測定磁界すなわち感度のばらつきが大きくなるといった問題がある。しかし、本発明によれば、減磁体を設けることによって、高い組み立て精度により位置決めされた磁気素子と減磁体の組み合わせによって、電流により発生する磁界を制御することができることとなるため、位置ずれによる感度のばらつきを小さくできるといった利点を有する。

[0135] また、SOP (Small Outline Package) などのリード付パッケージを用いる場合には、ダイ（減磁体および磁気素子）を搭載するパッド（ダイパッド）の部分をはかのリード部よりも200 μm 程度下げたタブ下げと呼ばれる加工を施したリードフレームを用いることが可能である。これにより、減磁体

および磁気素子の感磁部である磁性体コアをバスバーから遠ざけ、磁気シールドに近づけることができる。

[0136] シールド間隔、つまり、磁気シールドCM1, CM2間の距離が狭いほど、外乱磁界に対する耐性は強くなる。同時に、磁気シールドCM1, CM2間の距離（シールド間隔）が狭いほど、磁気素子M12とバスバーB0との距離も近づくことになり、バスバーB0に電流が流れたときの磁気素子M12に印加される磁界も強くなる。このため、磁気素子M12の測定レンジを確保するためにはシールド間隔をある程度確保する必要がある。

しかしながら、上記のタブ下げ加工されたリードフレームを用いることで、バスバー表面から磁気素子および減磁体を遠ざけることが可能となる。磁気素子がバスバーから遠ざかり、シールドに近づくほど磁気素子に印加される磁界は弱くなるため、このようなタブ下げ加工を施したリードフレームを用いることにより、シールド間隔を狭めたまま測定レンジを確保することができるようになり、より外乱に強い電流センサを実現することが可能である。

[0137] 上記の本実験例においては、磁気素子として、フラックスゲート型磁気素子を用いたが、本発明における磁気素子としてはこれに限ったものではなく、たとえば磁気抵抗効果素子やホール素子、磁気インピーダンス効果素子、トンネル磁気抵抗素子などを用いた磁気センサで、特に基板の面内方向に感磁方向を有する磁気センサ素子であれば同様に用いることができる。

[0138] 例えば、図14の磁気センサM10に示される磁気素子として、たとえば磁気抵抗効果素子やホール素子、磁気インピーダンス効果素子などを用いた場合においても、減磁体M11の効果により、磁気素子M12に印加される磁界が小さくなるため、磁気素子M12の有する磁性体のヒステリシス特性に起因したヒステリシス誤差を小さくすることができる。また、磁気素子M12に、フィードバックコイルを集積化した磁気素子を用い、該フィードバックコイルに、検出磁界に応じたフィードバック電流を通電する場合においては、減磁体M11の効果により、フィードバック磁界（電流）を小さくす

ることができるため、消費電流を小さくすることができる。

[0139] また、本発明では、上記の実施形態に示したように、磁気素子に軟磁性体からなる減磁体を積層し、シールド、バスバー、磁気素子、減磁体、シールドの順に並ぶような構成にすることにより、図39A～図39Cで磁気シールドCM1、CM2と磁気素子M12の状態として、それぞれ減磁体無し傾斜無し、減磁体無し傾斜有り、減磁体有り傾斜有りの状態を説明したとおり、電流センサの組み付け誤差により磁気素子が傾斜した場合においても、外乱磁界の影響を小さくすることができる。

[0140] <実験例C>

実験例Aと同様にして作製した電流センサにおける磁気センサの傾斜と減磁体有無に対する測定結果を図48、図49に示す。

図44、図45は、外乱磁界の方向と磁気センサM10の感磁部である磁性体コア1における磁束密度のセンサ感磁方向成分の関係を示すグラフである。

[0141] これらの例では、図39A～図39Cに示すように、磁気素子M12を包含する磁気センサM10としてのパッケージが実装基板等へ実装された状態において、バスバーB0と平行方向から傾斜した状態において、磁気素子の感磁方向をx軸、バスバーの平面に垂直な方向をz軸としたときにx-z方向に360°外乱磁界を印加したときの、磁気素子の感磁部における磁束密度を有限要素法により計算した結果である。図44には、図39Aの減磁体無し傾斜無し、および、比較検証のため減磁体有り傾斜無し、図45には、図39Bの減磁体無し傾斜有り、図39Cの減磁体有り傾斜有りの結果をそれぞれ示す。

ここで、0°方向は磁気素子の感磁方向、90°方向はバスバーの平面に垂直な方向とし、また図39Bに示す傾斜角度 $\theta = 2^\circ$ とした。

[0142] これらの結果から、電流センサが、2枚の平行な磁気シールド（シールド板）CM1、CM2を有するが減磁体M11持たない構成とされた場合、磁気シールドCM1、CM2に平行な外乱磁界を誘引する効果を有するものの

、磁気シールドCM1、CM2に垂直な外乱磁界はそのまま印加されるため、その実装形態において組み付けなどにより磁気シールドCM1、CM2の水平方向に対して磁気素子M12が傾斜してしまった場合に、磁気シールドCM1、CM2の垂直方向に印加された外乱磁界の正弦成分が誤差として現れることになる。これは、図44の減磁体無し傾斜無しと、図45の減磁体無し傾斜有りとを比較することで明らかである。

[0143] 一方、図39Cに示すように減磁体M11がある場合、傾斜した減磁体M11に入射した外乱時磁界としての磁束は、感磁方向である減磁体M11表面に対して垂直に入射するように曲げられるため、傾斜した磁気素子M10に対しても垂直に入射する。

本発明において採用する磁気素子は薄膜を積層することにより形成されたものとされて膜面垂直方向に感度を持たないため、このように組み付け誤差等により磁気素子M12が傾斜した場合であっても、磁気素子M12および減磁体M11とが一体として傾斜することで、外乱磁界の影響を極めて小さくすることができる。

[0144] また、上述した各実施形態で説明したような原因のみならず、磁気素子M12の磁気シールドCM1、CM2に対する傾斜は、ハウジングCS20a、CS30a、CS40a、CS50a、CS70aと回路基板M10aの組み付けや、回路基板M10aの反りなどによっても発生する可能性は考えられる。

ここで、磁気素子M12と減磁体M11の平行度は、磁気素子M12を形成したシリコン等の基板の平面と、減磁体M11を構成する薄板ないしチップ状の磁性体表面の平面によって決められる。

[0145] また、組立工程においてこれら磁気素子M12、減磁体M11を積層する場合、ダイボンド樹脂として、エポキシ、Agペースト、DAFなどの適用が可能であるが、一般にこれらを用いてダイボンダで積層した場合の厚み誤差は数 μm 以下であり、両者ともサイズが1mm～2mm程度と小さく、この範囲で傾斜角度として取りうる角度は非常に小さい。

したがって、磁気素子M12と減磁体M11とを積層したパッケージの磁気センサM10を用いることで、組み付け誤差による傾斜に対しても外乱磁界の影響の小さい電流センサCS10, CS20, CS30, CS40, CS50, CS70を構成することができる。

[0146] <実験例D>

上述の実験例B（図42）では、測定に用いたフラックスゲート型磁気素子の測定可能なレンジは±1mT程度であるため、電流により発生する磁界がこの範囲に入るようにスリット幅およびセンサバスバー間（基板とバスバー間）距離を調整した例を示している。

しかし、バスバーの作る磁界はバスバー表面から離れるほど小さくなるため、磁気センサの測定レンジ内に所望の測定電流の作る磁界を合わせるためには、減磁体を用いない場合にはセンサ素子をシールドに近づける必要があるが、実際には、基板の厚みやセンサのパッケージ厚み、スタンドオフ高さなど、各部材の寸法や組立の制限により、実現が難しい場合がある。

[0147] そこで、この実験例においては、バスバー寸法、シールド寸法、シールド板間隔、センサパッケージサイズを等しくするとともに、断面視した各部材間の距離を同一としたサンプルを作成し、磁気シールドの有無、シールド材質、減磁体の有無について比較検討をおこなった。

[0148] また、この実験例においては、電流センサのサンプルとしては図40に示す構成を採用し、磁気シールドCM1, CM2を設けたものと、この磁気シールドCM1, CM2がないものを用意した。

磁気シールドCM1, CM2がなしのものとしては、磁気シールドCM1, CM2の替りに非磁性の樹脂製のスペーサを用いて磁気素子M12とバスバーB01の距離が同一となるように固定した。

[0149] さらに、この実験例においては、磁気センサM10として、図41に示すものに対応し、図46に示すように、減磁体M11を有する構成（a）、および、減磁体M11を除いた構成（b）とした。ここで、図46に示すように、減磁体有りと減磁体無しとの両方で、フラックスゲートセンサ磁気素子

M 1 2 の感磁部であるチップ表面に位置するボンディングワイヤM 1 5 のリードフレーム基材M 1 6 からの高さMM 1 3 が同一になるように設定した。

具体的には、減磁体無しの場合、例えばシリコン等の非磁性基板M 1 3 ' の厚さを調整した。このように、リードフレーム基材M 1 6 の高さを設定することをタブ下げ加工と称する。

[0150] 本実験例のサンプルにおいては、磁気シールドCM 1, CM 2 としてPC パーマロイと電磁軟鉄の2 種類を用いた。減磁体M 1 1 としてはPC パーマロイを用いた。

測定は、駆動回路の出力電圧が同ースパンになるように測定電流を調整して測定電流範囲を求め、その測定電流範囲内での出力電圧のリニアリティについて評価を行った。また、フラックスゲートセンサ素子の感磁方向に、大きさ1 m T の一様な外乱磁界を、ヘルムホルツコイルにより印加し、オフセット電圧の変化を観測した。この結果を表1 に示す。

[表1]

サンプル No.	シールド板	減磁体	測定電流 範囲[A]	リニアリ ティ誤差 [%FS]	外乱磁界 による 誤差 [%FS]	外乱磁界による 誤差の電流 換算値 [A]
1	なし	なし	±35.0	0.074	72.32	50.5
2	パーマロイ	なし	±42.0	0.083	1.14	1.0
3	電磁軟鉄(SUY-0)	なし	±42.0	0.619	3.71	3.1
4	パーマロイ	あり	±349.8	0.083	—	—
5	電磁軟鉄(SUY-0)	あり	±349.7	0.068	0.18	1.2

[0151] 表1には、シールド板、減磁体の有無による測定電流範囲とリニアリティ、外乱磁界誤差を示す。

また、図47～図55には各サンプルの測定電流と出力電圧、並びに測定電流と出力電圧の関係を最小二乗近似した近似直線と実測値の差を出力誤差として出力のフルスケール電圧に対するパーセンテージで示したグラフをそれぞれ示す。

[0152] これらの結果から、図47～図48に示すように、磁気シールド無しのサンプルでは、ヒステリシス誤差の原因となるシールド板が存在しないためリニアリティは良好であるが、外乱磁界による影響が大きく、そのままでは外

乱磁界の存在下では使用できないことが判る。また、シールド板や、減磁体による減磁効果が小さいため、測定レンジが狭いことがわかる。

[0153] 一方、図49～図52に示すように、磁気シールドを配置して減磁体を用いない場合には、磁気シールドのシールド効果により、磁気シールドなしの場合と比較して、外乱磁界の影響が小さくなっていることが確認できる。一方、ヒステリシスの小さいPCパーマロイを用いた場合には、図49～図50に示すように、リニアリティは良好であるが、ヒステリシスの大きい電磁軟鉄を用いた場合には、図51～図52に示すように、電流センサの出力にもヒステリシスが発生しており、出力誤差が大きくなっていることが判る。したがってこのような構成で、出力誤差の小さい電流センサを実現しようとした場合には、ヒステリシスの小さい材料を用いる必要がある。

[0154] 減磁体を用いた場合においては、図53～図55に示すように、磁気シールドにPCパーマロイと電磁軟鉄を用いたそれぞれの場合において、リニアリティについては有意差は見られず、ほぼ同等の特性が得られていることが判る。また、ヒステリシスが比較的大きく、透磁率の低い電磁軟鉄を用いた場合においても、外乱磁界による誤差を小さくすることができ、高精度な電流センサを実現することができる。

[0155] シールド板ならびに減磁体に用いるヒステリシスの小さい材料としては、PCパーマロイ、PBパーマロイ、MnZnフェライト、センダスト（FeSiAl）などが挙げられる。一方、減磁体を用いた場合には、表1および図53～図55に示したとおり、透磁率が低く、ヒステリシスの比較的大きい電磁軟鉄を用いた場合においても、PCパーマロイを用いた場合と同等の特性が得られていることから、高価な金属材料や、加工の難しい材料を用いることなく、入手容易な材料を用いることができる。

そのような材料としては、珪素鋼板（電磁鋼板）などのFeSi系材料や電磁軟鉄（SUY）などが挙げられる。

[0156] 本発明の電流センサにおいては、

1) 測定電流を通電するためのバスバーと、リードフレーム基材上に、軟磁

性体の減磁体（第三の磁性体）と磁気素子とを、積層した磁気センサパッケージを少なくとも実装した電子回路基板と、平行に配置された２枚の磁気シールド（シールド板）と、前記バスバー、電子回路基板、および２枚の磁気シールドを保持するためのハウジング部材からなる電流センサであって、前記磁気センサパッケージを実装した電子回路基板の、前記磁気素子の実装された面をバスバー側に向けて配置され、前記２枚の磁気シールドは、一方は前記電子回路基板の外側に配置され、もう一方は、バスバーに対して前記電子回路基板の配置された側の反対側に配置されていることを特徴とすることができる。

[0157] ２）上記電流センサにおいて、第三の磁性体表面から磁気素子の感磁部の距離が、前記磁気素子とバスバーを介して反対側にある第二の磁性体板（シールド板）から磁気素子の感磁部の距離よりも短いことを特徴とすることができる。

[0158] ３）前記第三の磁性体の保磁力が、前記第一および第二の磁性体（シールド板）の保磁力よりも小さいことを特徴とする電流センサ。

[0159] ４）上記電流センサにおいて、前記リードフレーム基材が、ダイを搭載する部分にタブ下げ加工がされていることを特徴とすることができる。

産業上の利用可能性

[0160] 本発明は、例えば自動車内部のバッテリーに繋がる配線などに流れる電流値を測定する電流センサとして適用できる。

符号の説明

[0161] B 0, B 0 0, B 0 1, B 6 0, B 6 1, B 6 2…バスバー、C S 1 0…電流センサ

C M 1 …第１の磁性体板（磁気シールド）

C M 2 …第２の磁性体板（磁気シールド）

M 1 0, M S 1 0…磁気センサ

M T 1 0…制御用集積回路

M 1 2…磁気素子

1…磁性体コア

9…励磁コイル

10…検出コイル

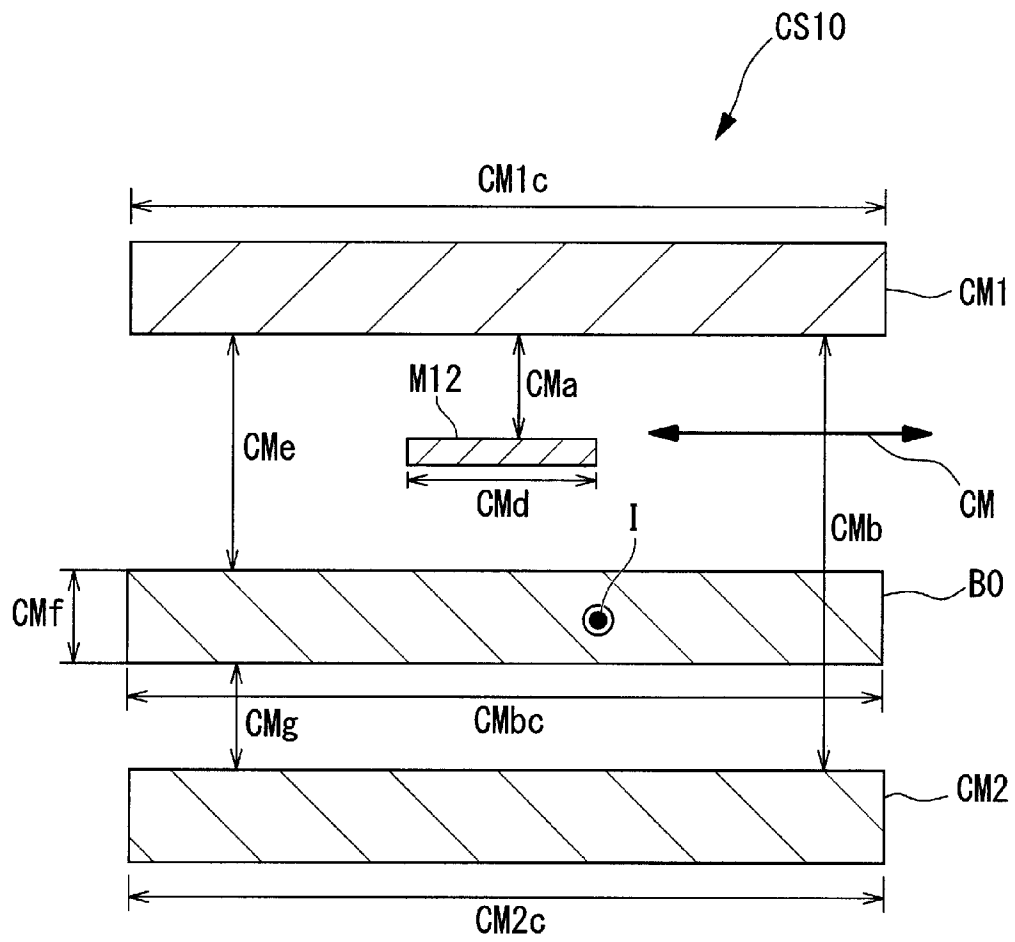
21…フィードバックコイル

MT11…励磁電流発生回路

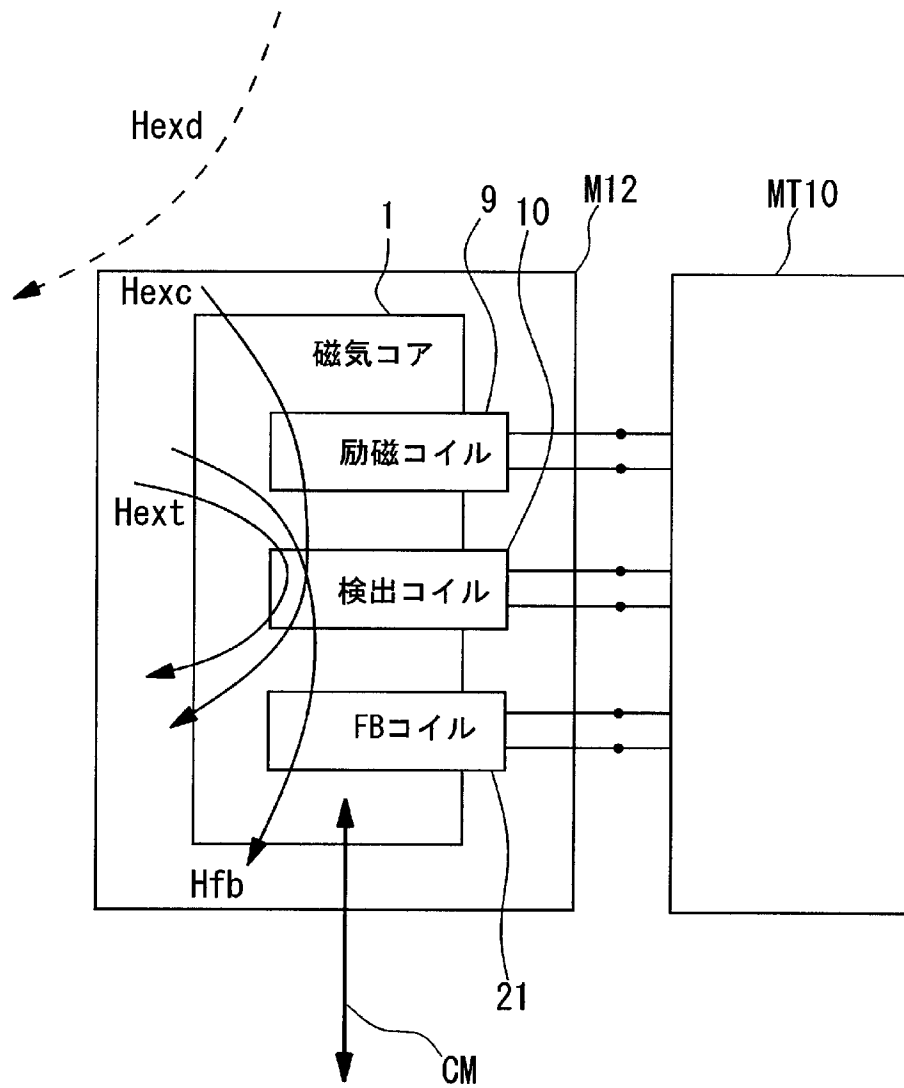
請求の範囲

- [請求項1] 電流路に流れる電流の値を測定する電流センサであって、
電流路の近傍に配されたフラックスゲート型磁気素子と、
第1の磁性体板および第2の磁性体板と、を備え、
前記第1の磁性体板および第2の磁性体板が、前記電流路および前記フラックスゲート型磁気素子との重なり方向において、前記電流路および前記フラックスゲート型磁気素子を挟むとともに、
前記第1の磁性体板および前記第2の磁性体板の主面は、前記フラックスゲート型磁気素子の感磁方向および前記電流が流れる方向と平行であることを特徴とする電流センサ。
- [請求項2] 請求項1に記載の電流センサにおいて、
前記第1の磁性体板と前記第2の磁性体板との離間距離が、前記感磁方向における前記第1の磁性体板と前記第2の磁性体板の幅よりも小さいことを特徴とする電流センサ。
- [請求項3] 請求項1または2に記載の電流センサにおいて、
前記フラックスゲート型磁気素子には、第3の磁性体板が積層して形成されていることを特徴とする電流センサ。
- [請求項4] 請求項3に記載の電流センサであって、前記第1の磁性体板および前記第2の磁性体板が、前記第3の磁性体板を覆うように配されていることを特徴とする電流センサ。
- [請求項5] 請求項4に記載の電流センサであって、前記フラックスゲート型磁気素子は、前記第1の磁性体板および前記第2の磁性体板の重なり方向において、前記電流路と前記第3の磁性体板とによって挟まれる領域に配されていることを特徴とする電流センサ。
- [請求項6] 請求項5に記載の電流センサであって、前記第3の磁性体板は前記電流路とは離れた位置、すなわち、前記第1の磁性体板側に配されていることを特徴とする電流センサ。

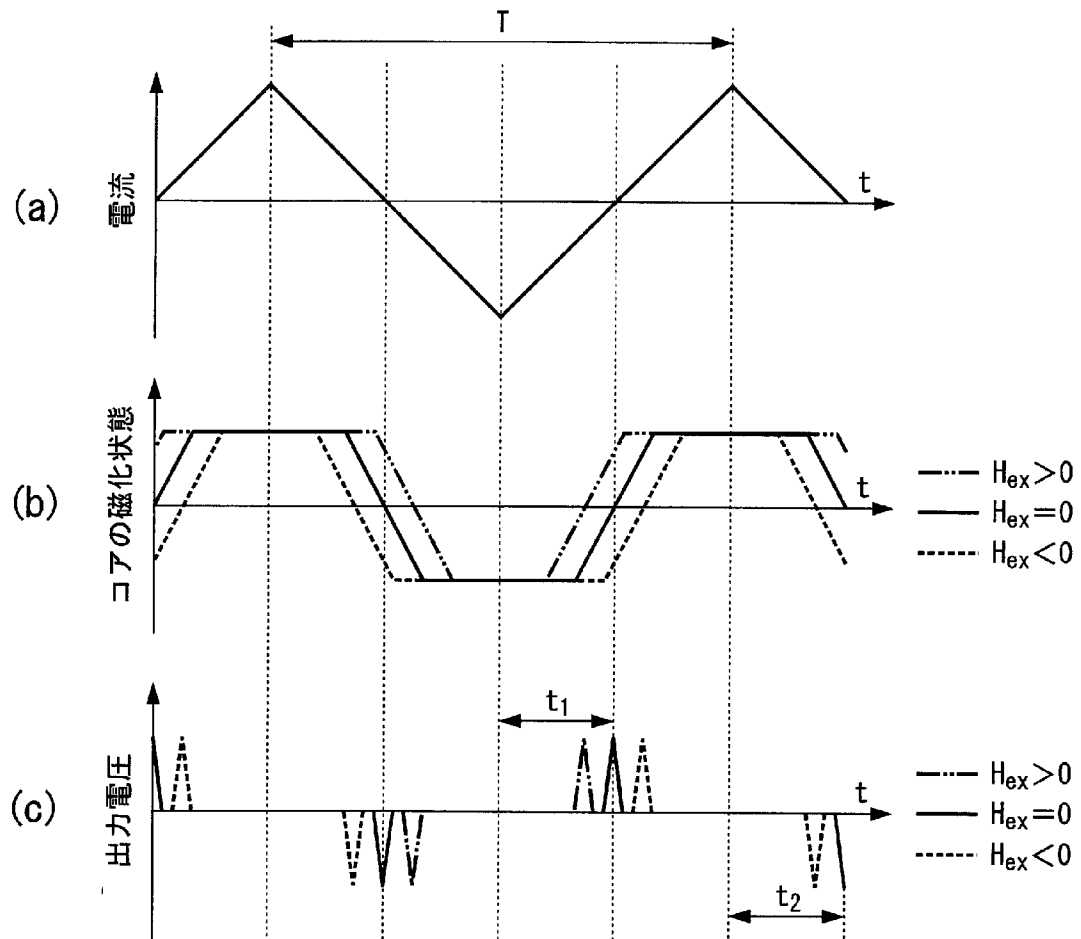
[図1]



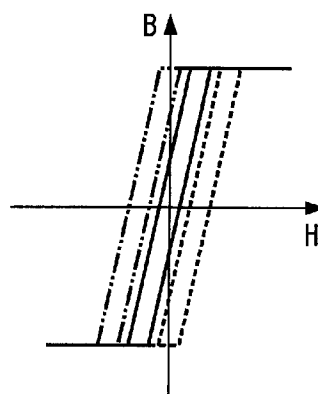
[図2]



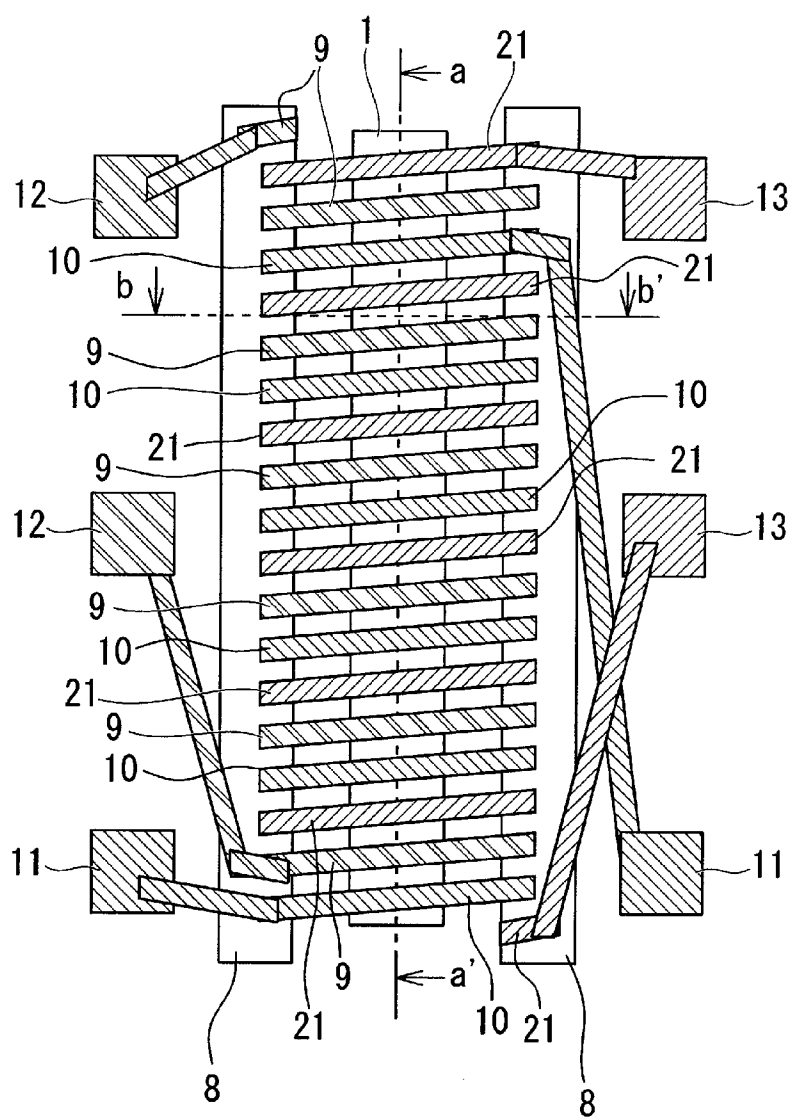
[図3]



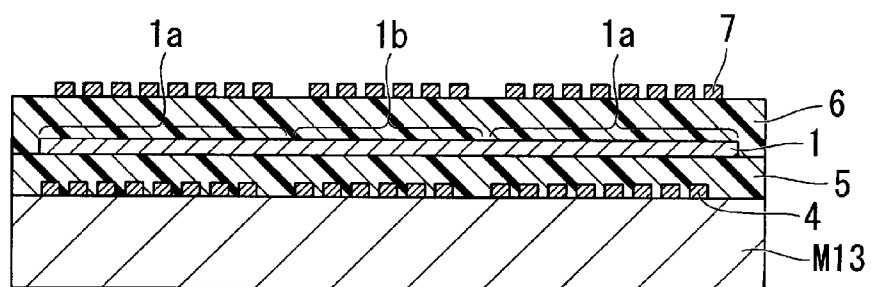
[図4]



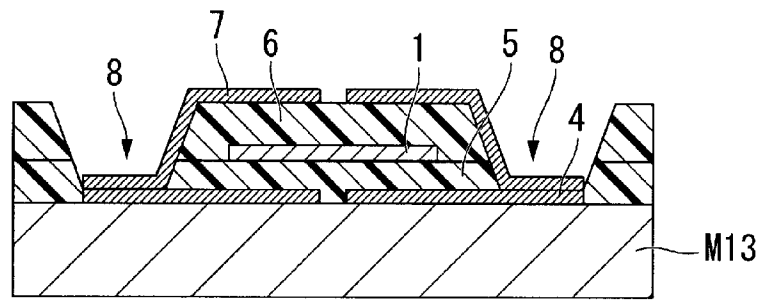
[図5]



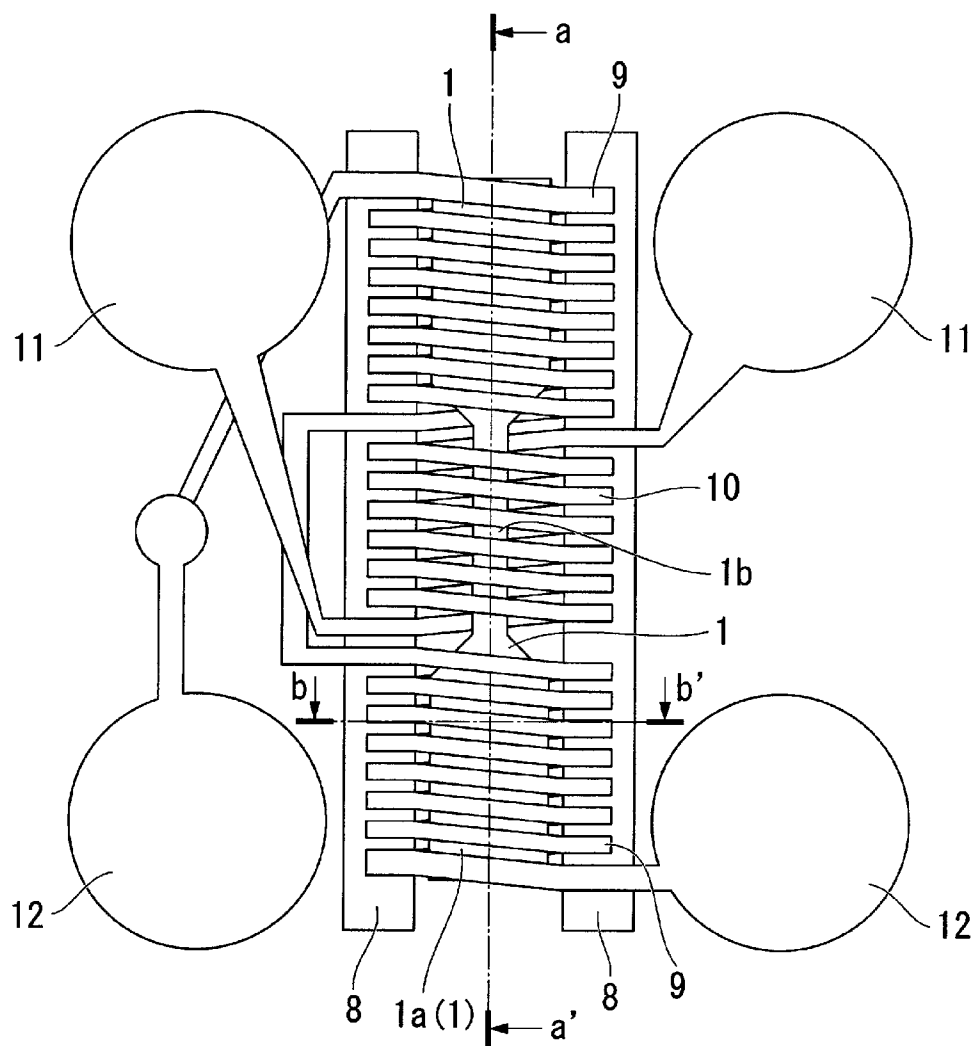
[図6]



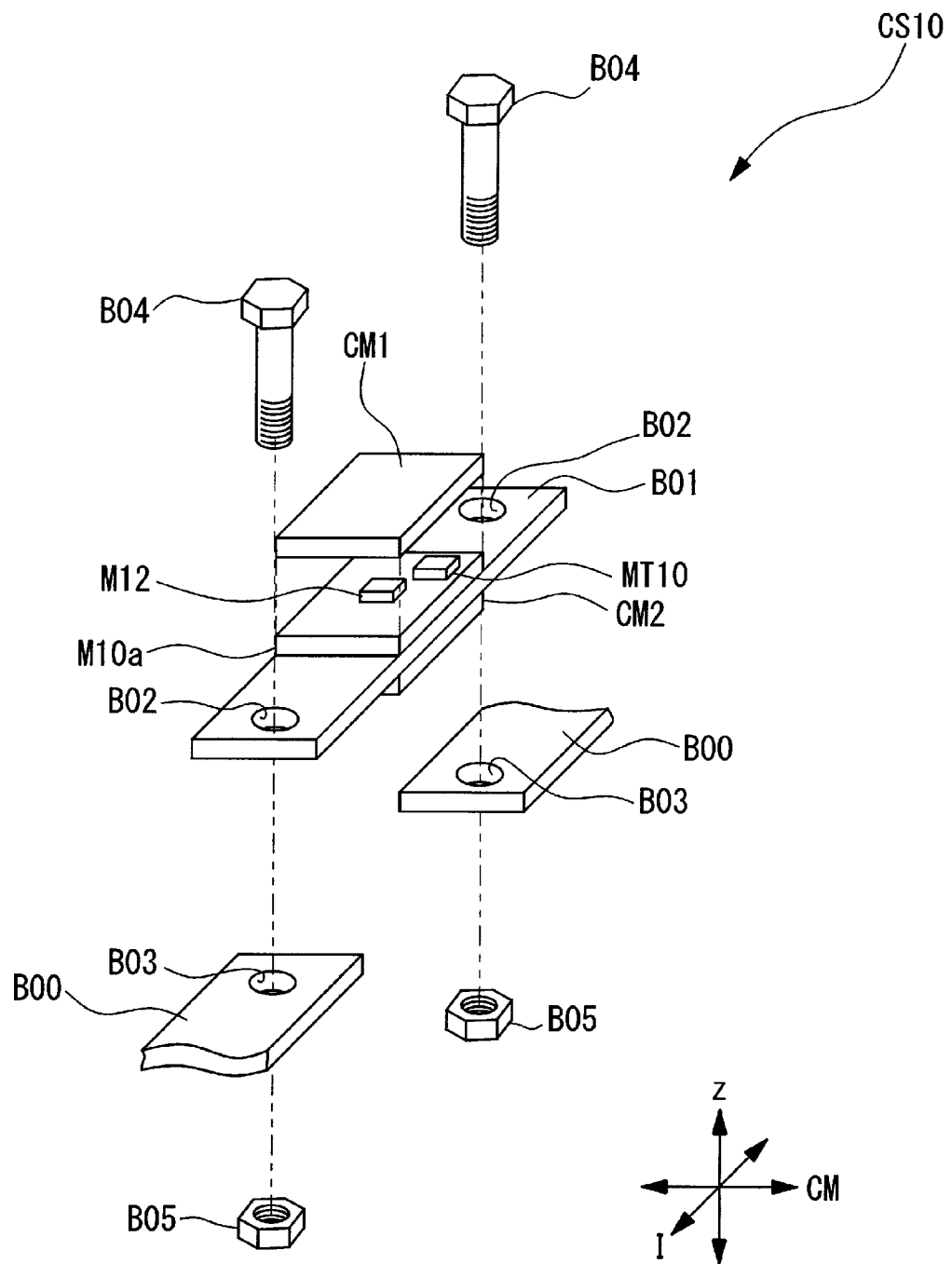
[図7]



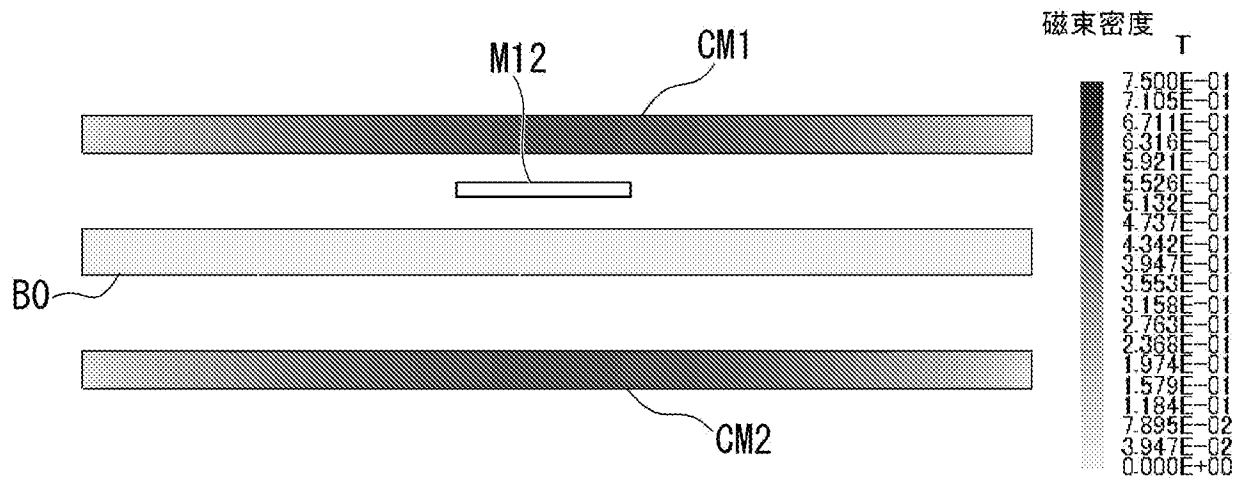
[図8]



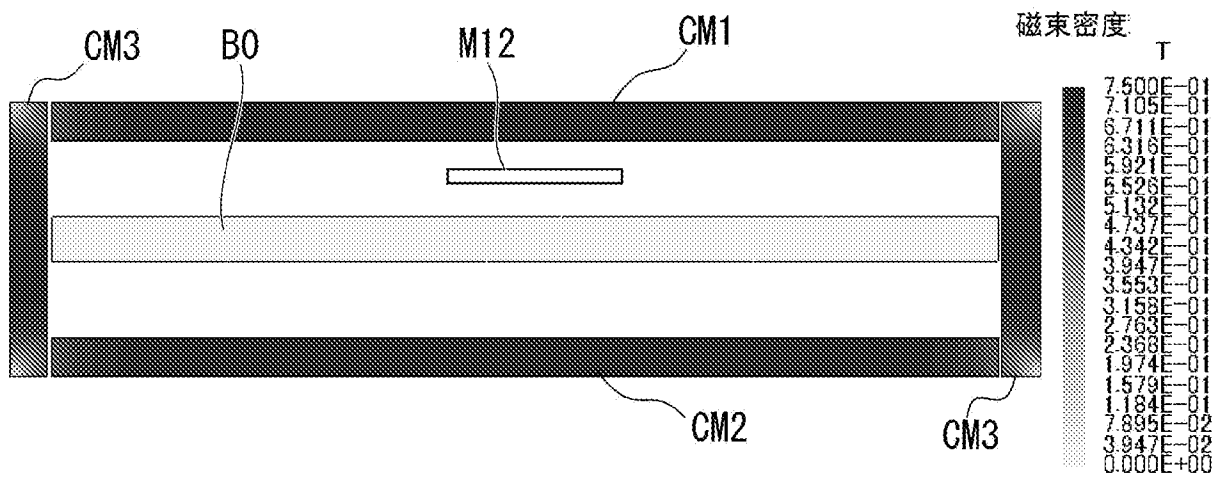
[図9]



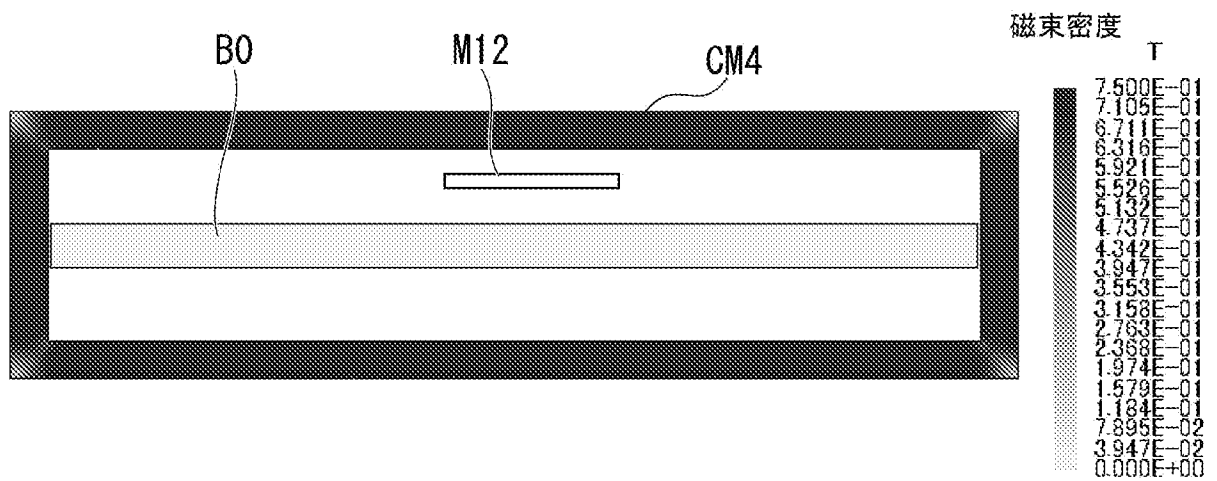
[図10]



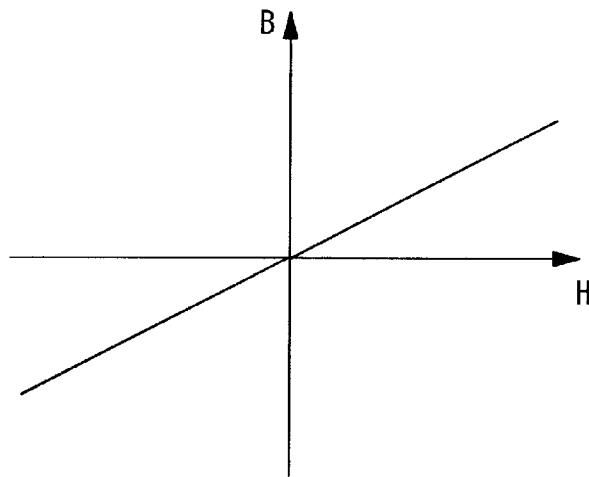
[図11]



[図12]

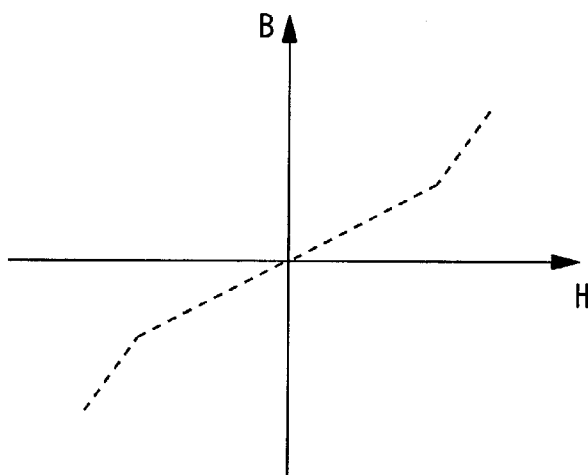


[図13A]



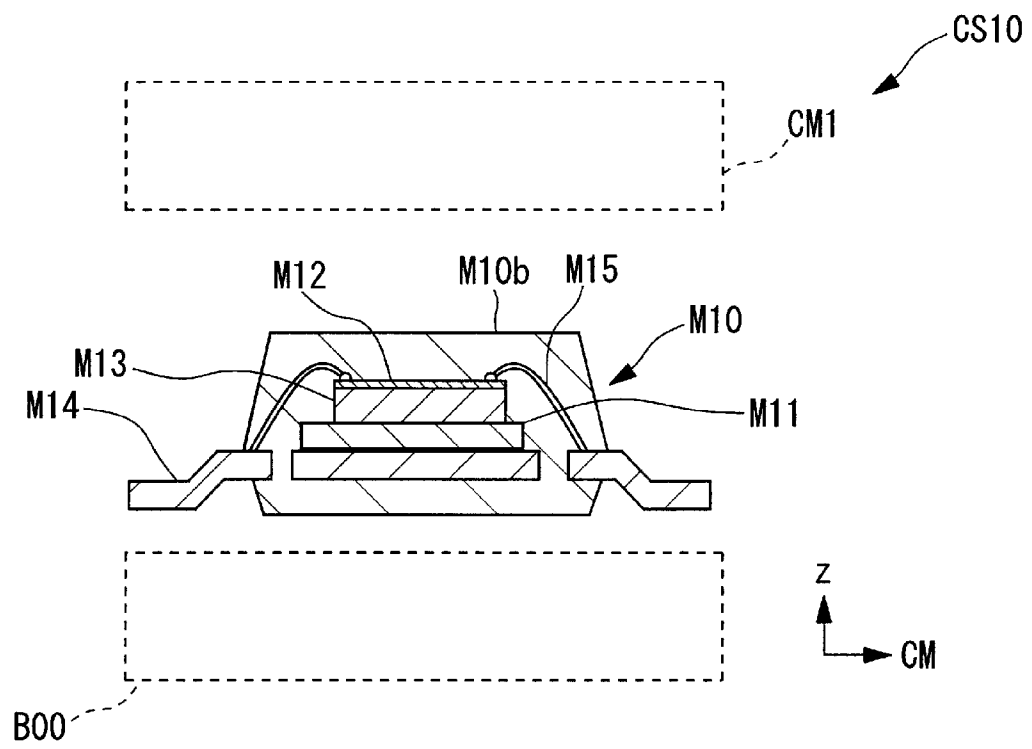
磁気シールドが飽和しない場合における
磁気素子の磁気飽和特性

[図13B]

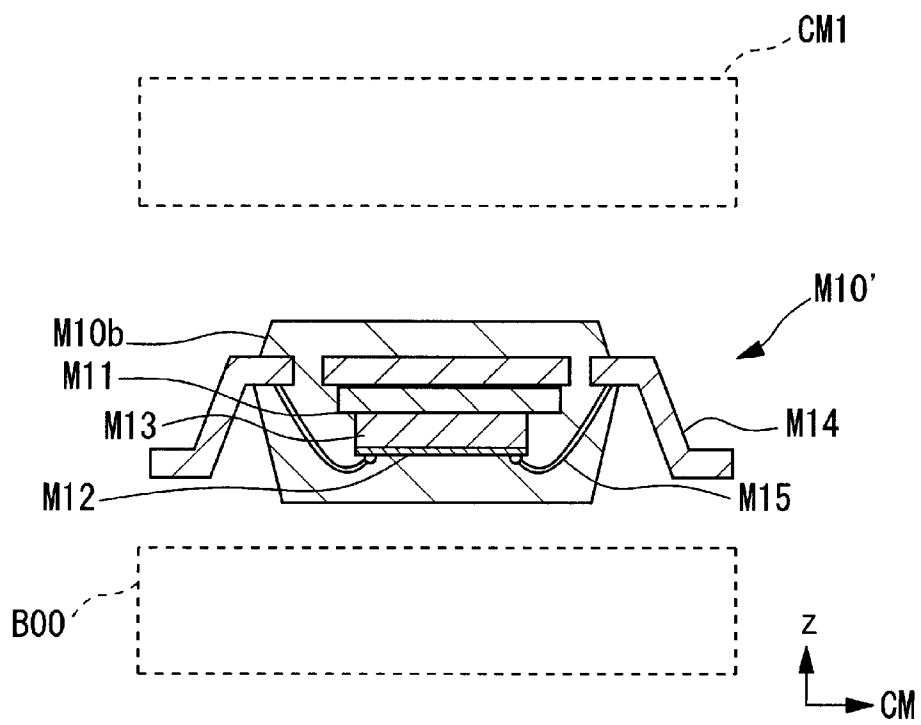


磁気シールドが飽和する場合における
磁気素子の磁気飽和特性

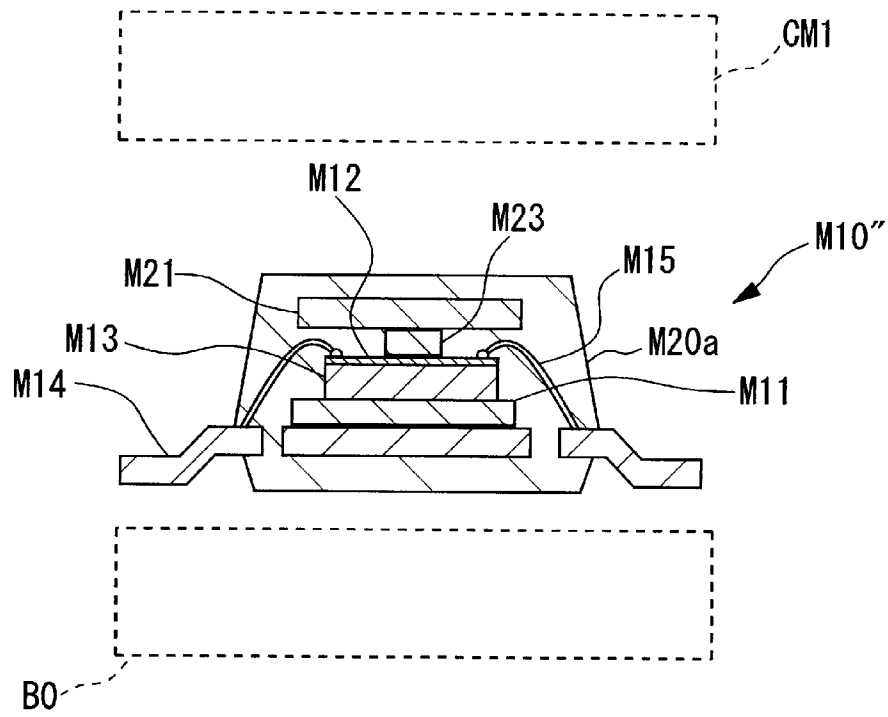
[図14]



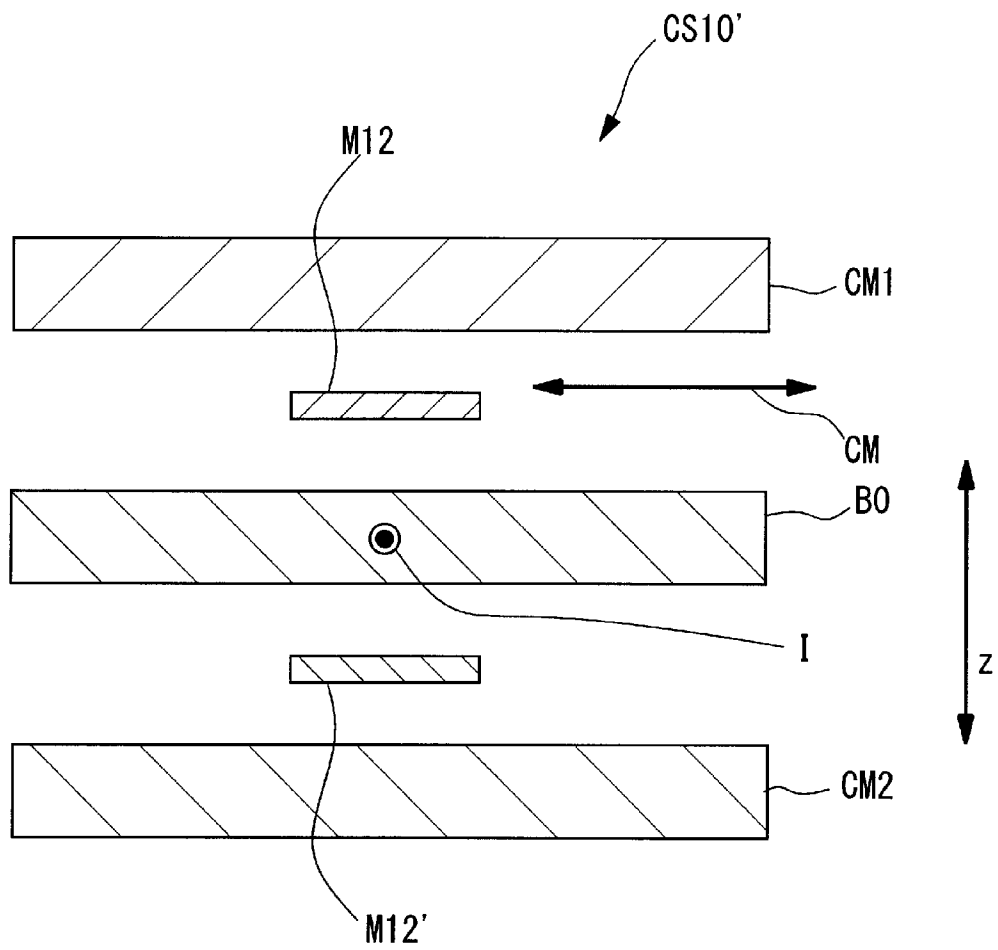
[図15]



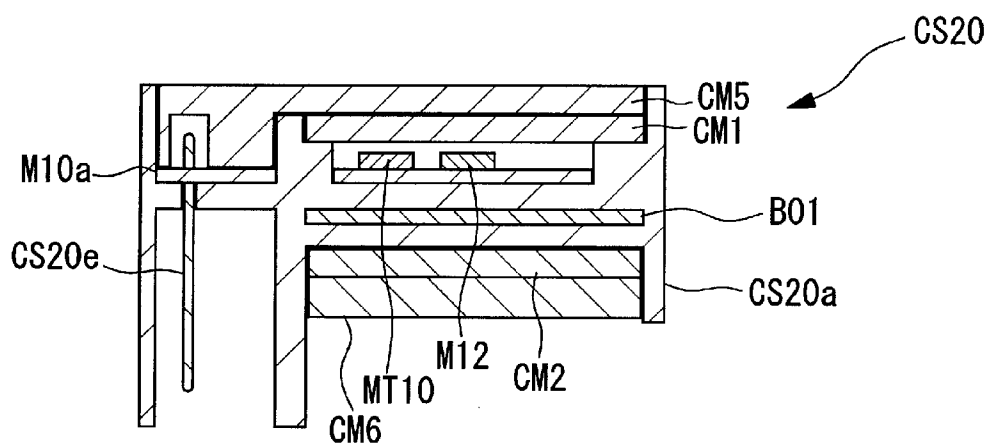
[図16]



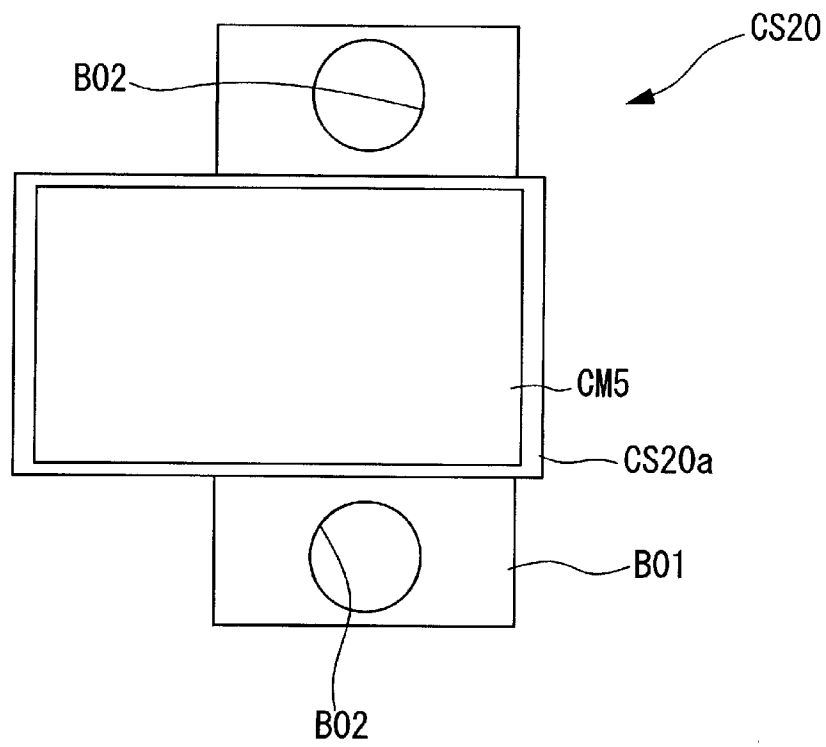
[図17]



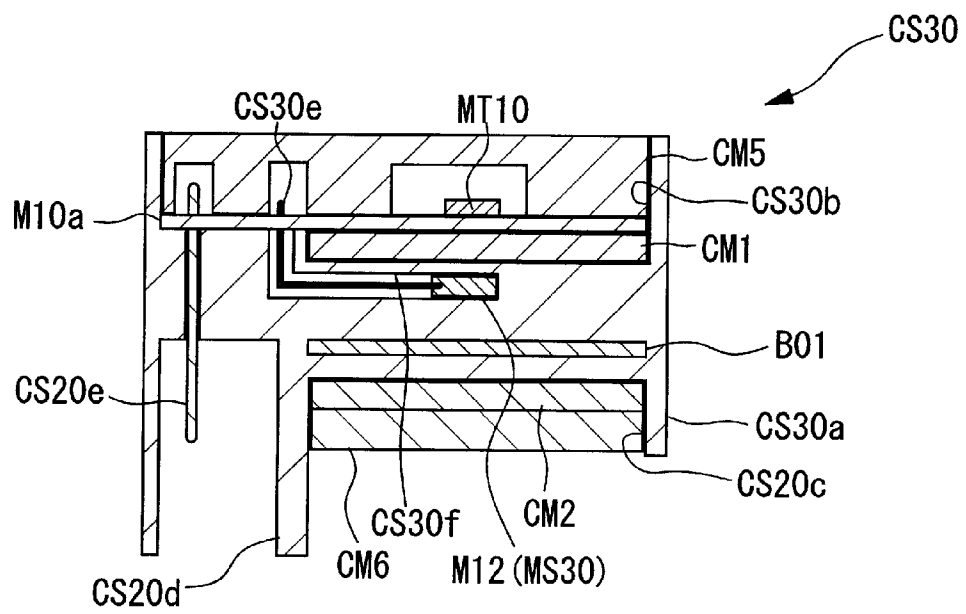
[図18]



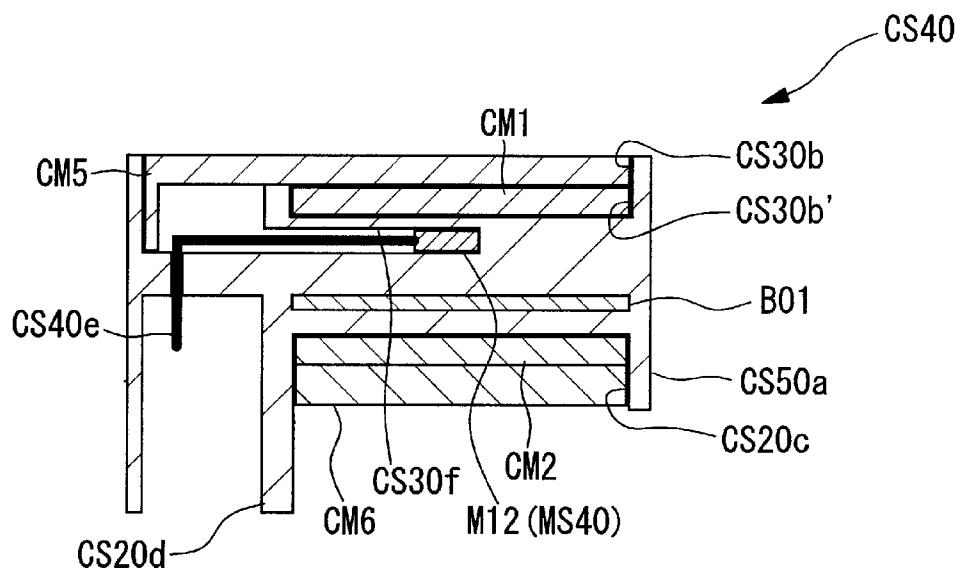
[図19]



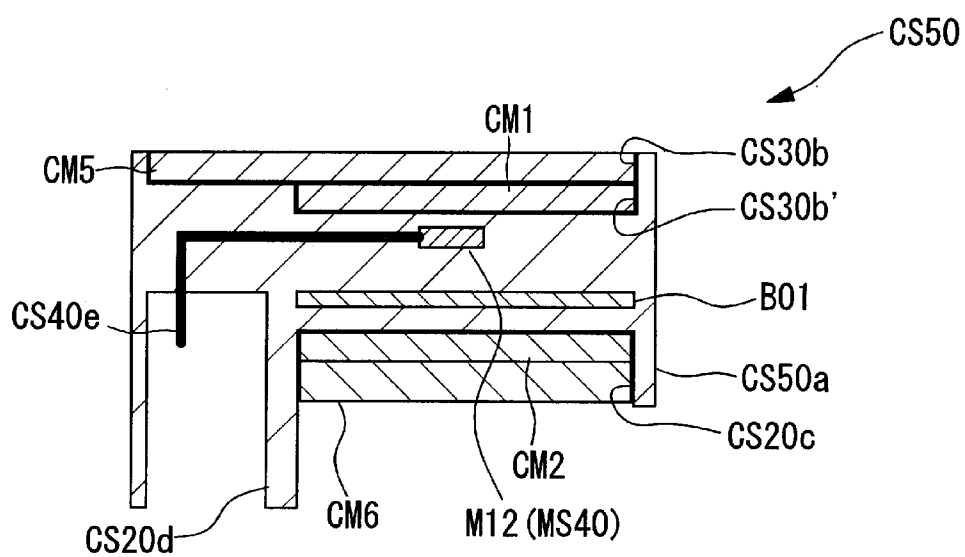
[図20]



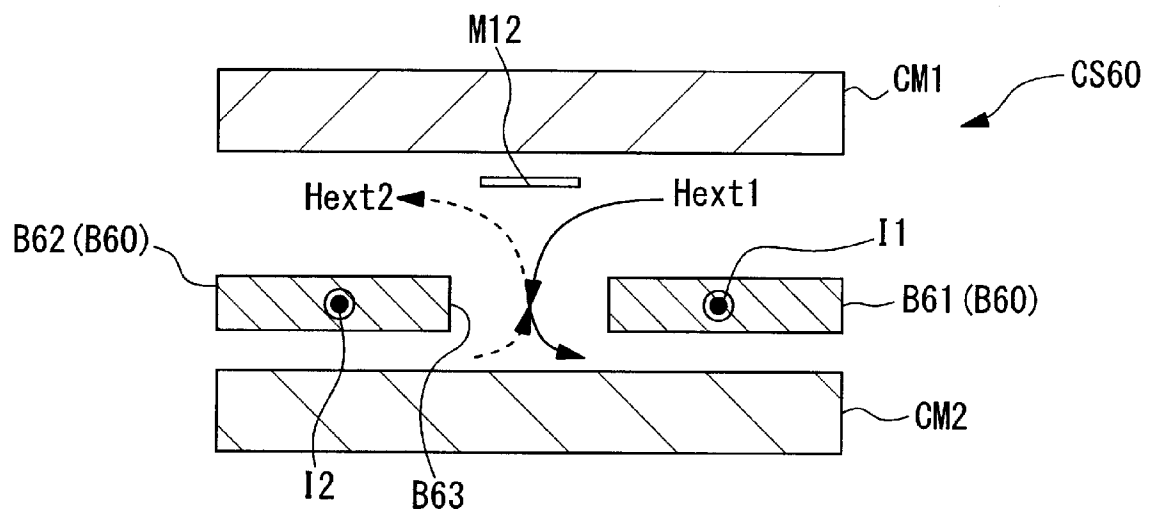
[図21]



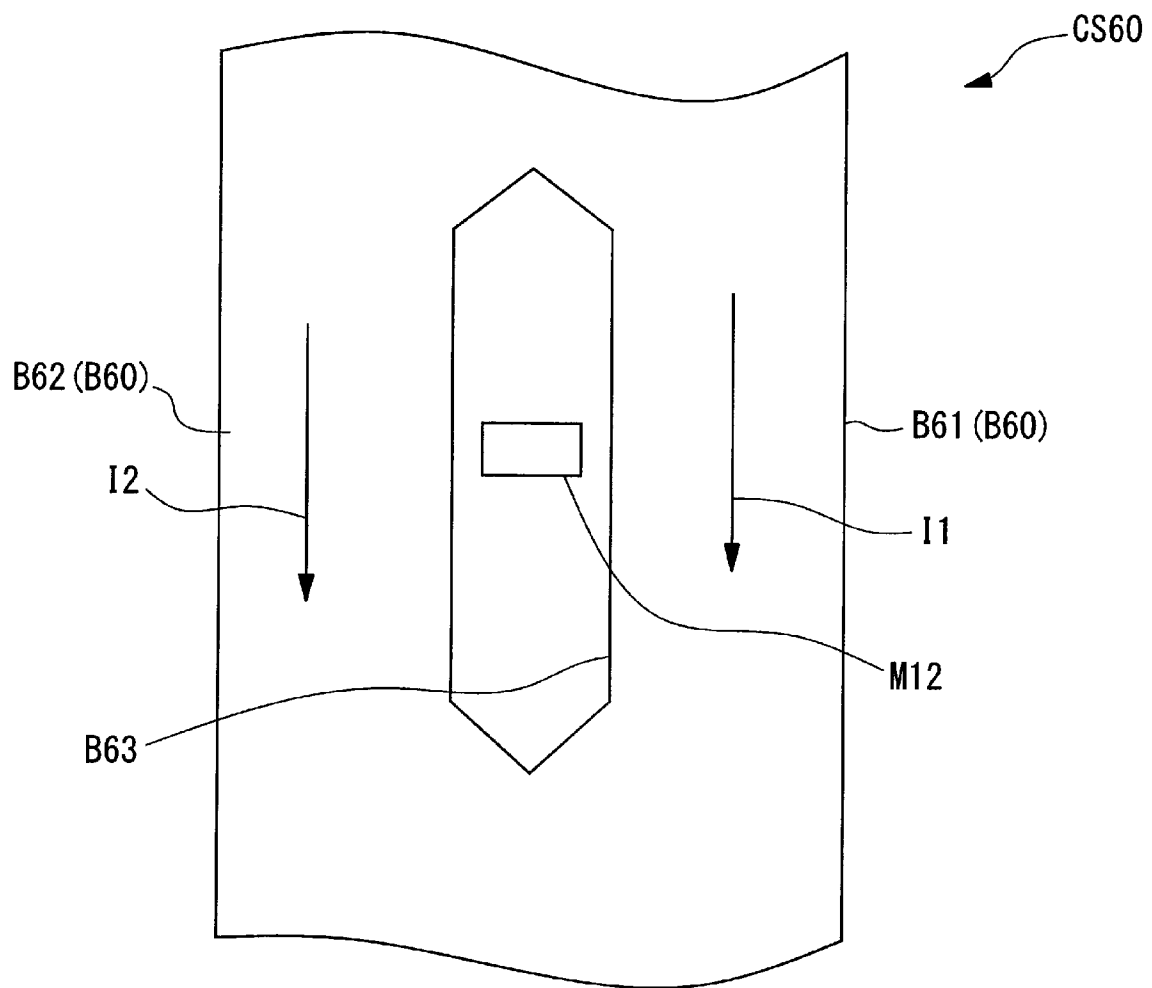
[図22]



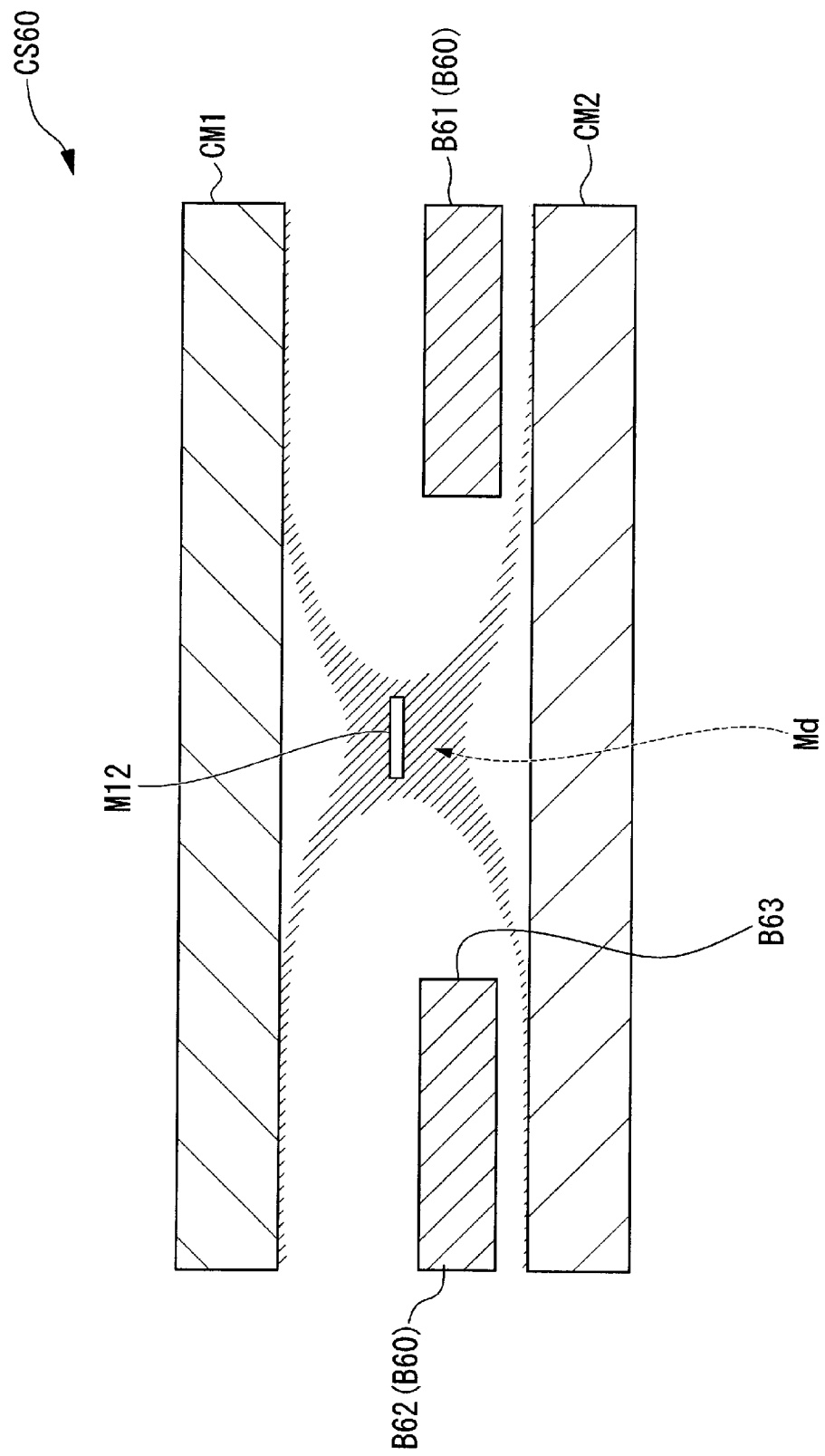
[図23]



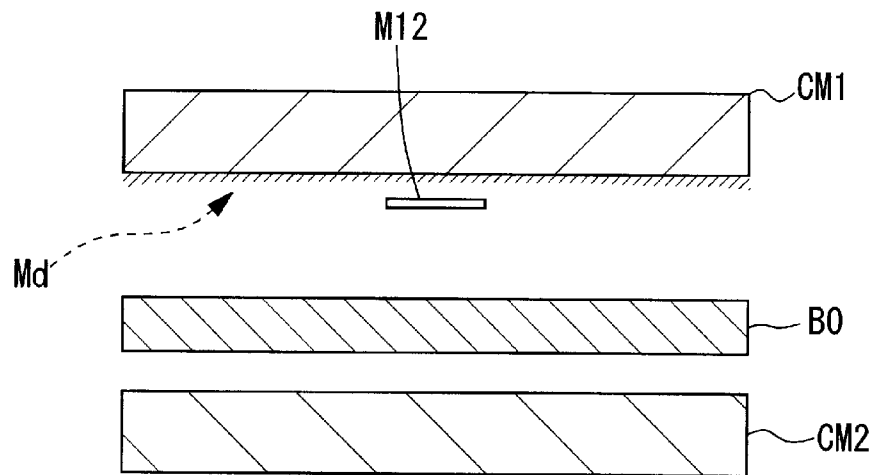
[図24]



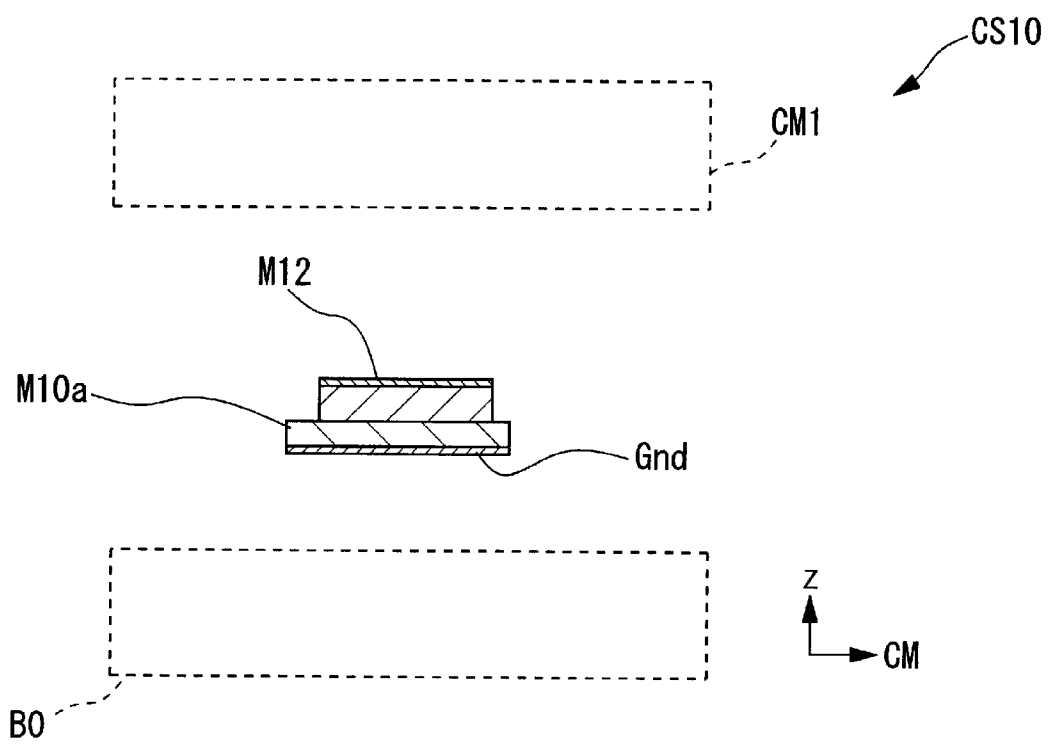
[図25]



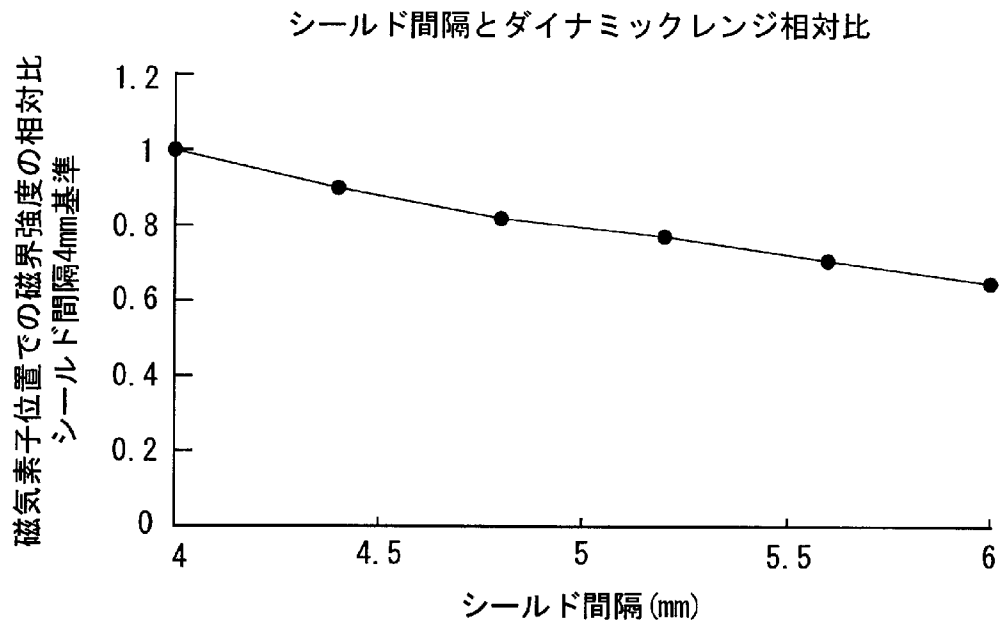
[図26]



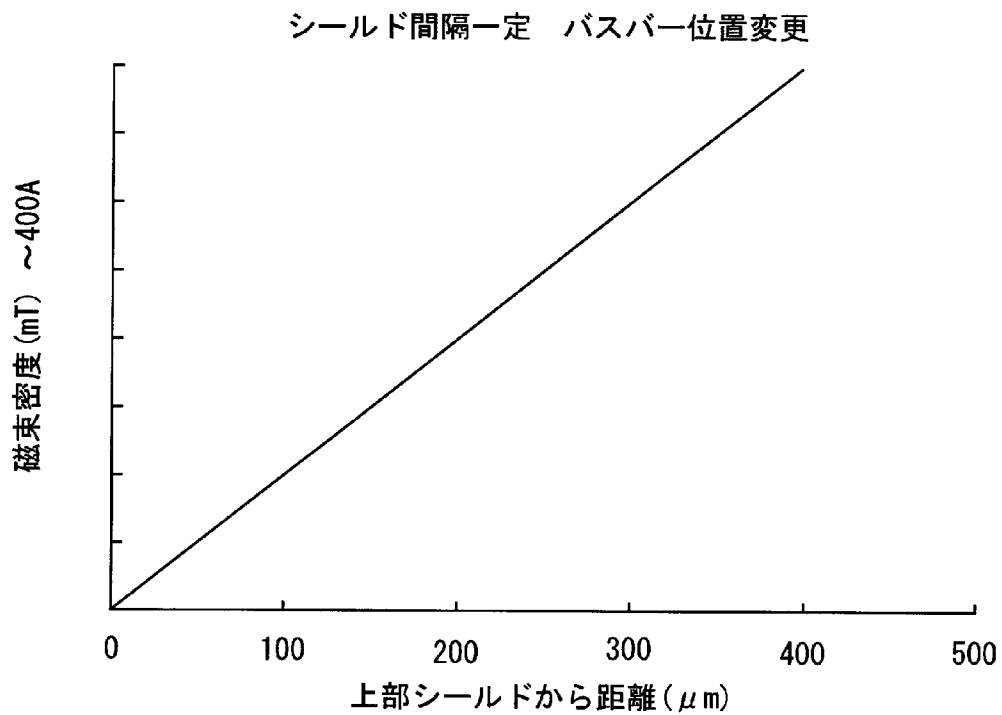
[図27]

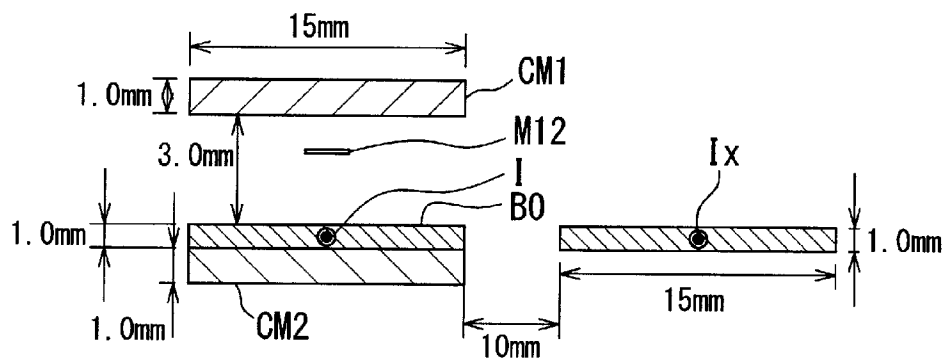


[図28]

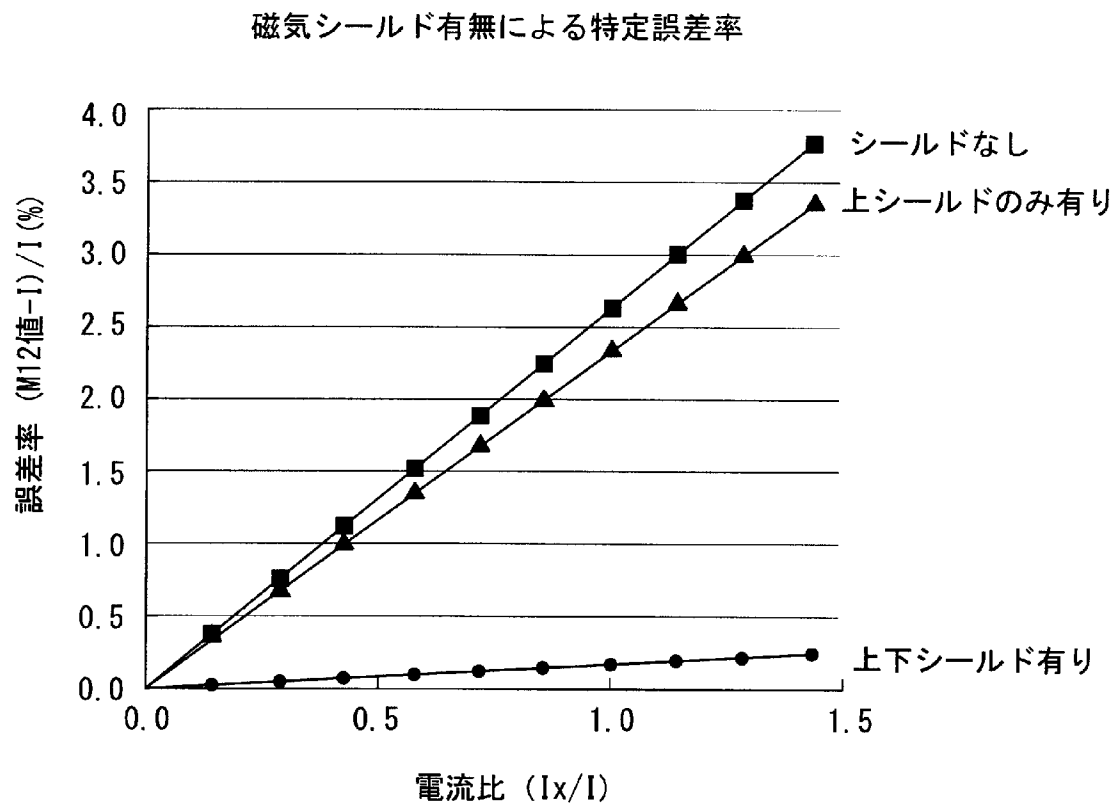


[図29]

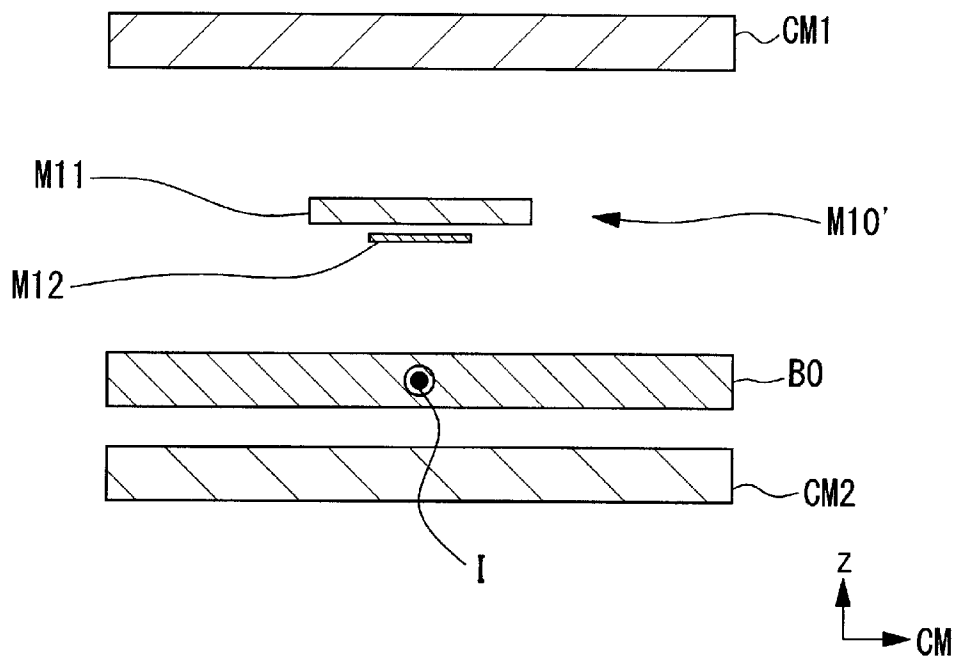




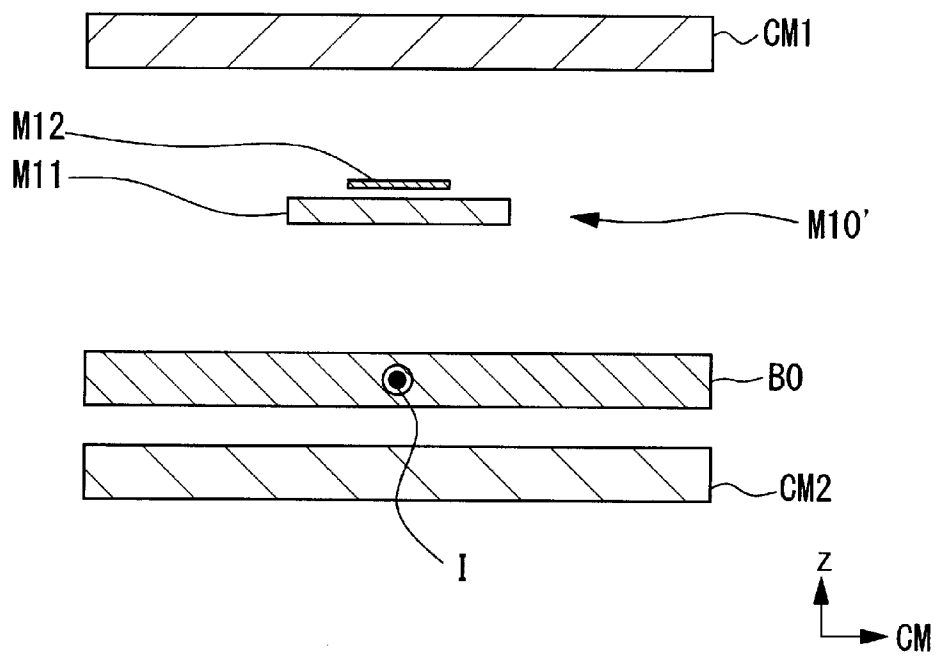
[図32]



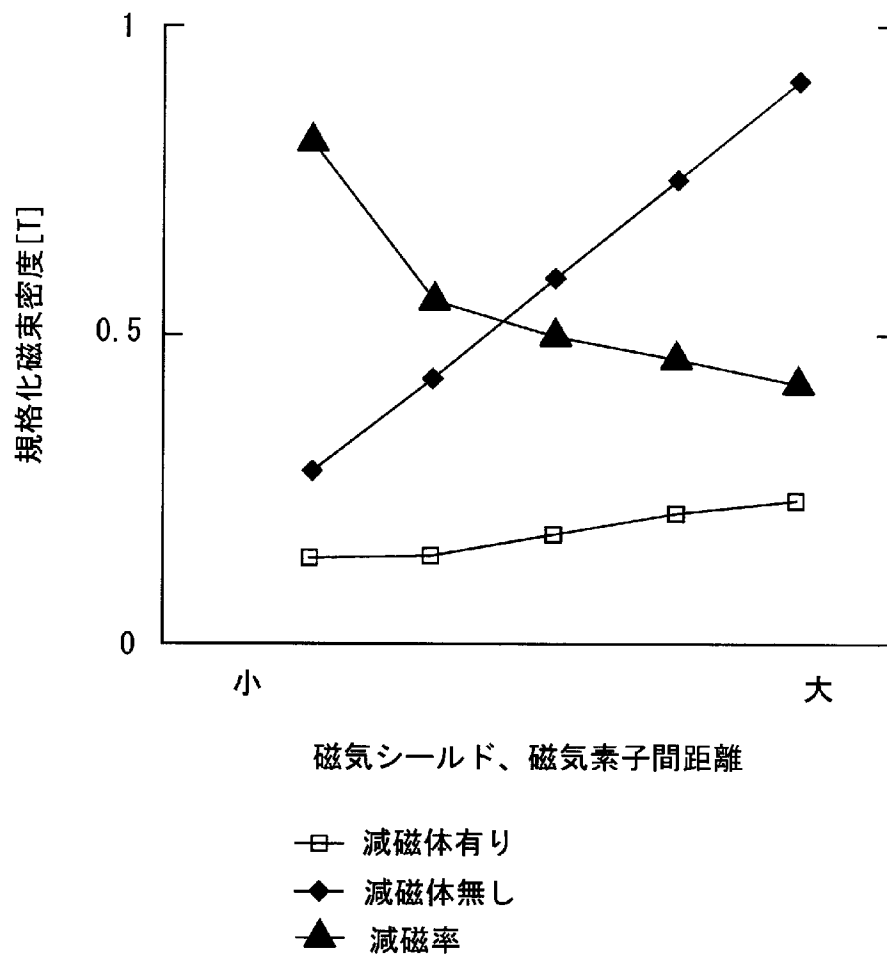
[図33A]



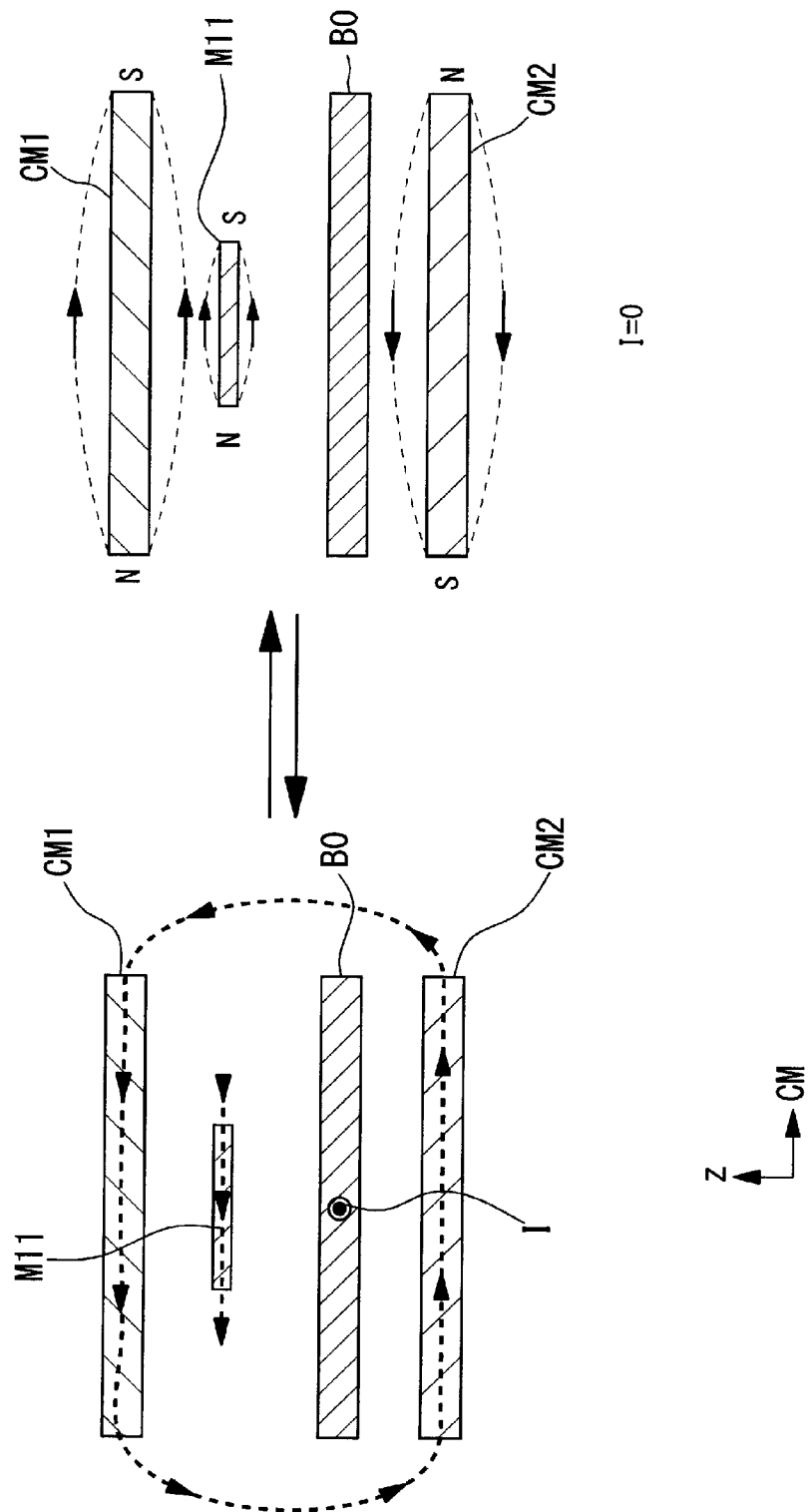
[図33B]



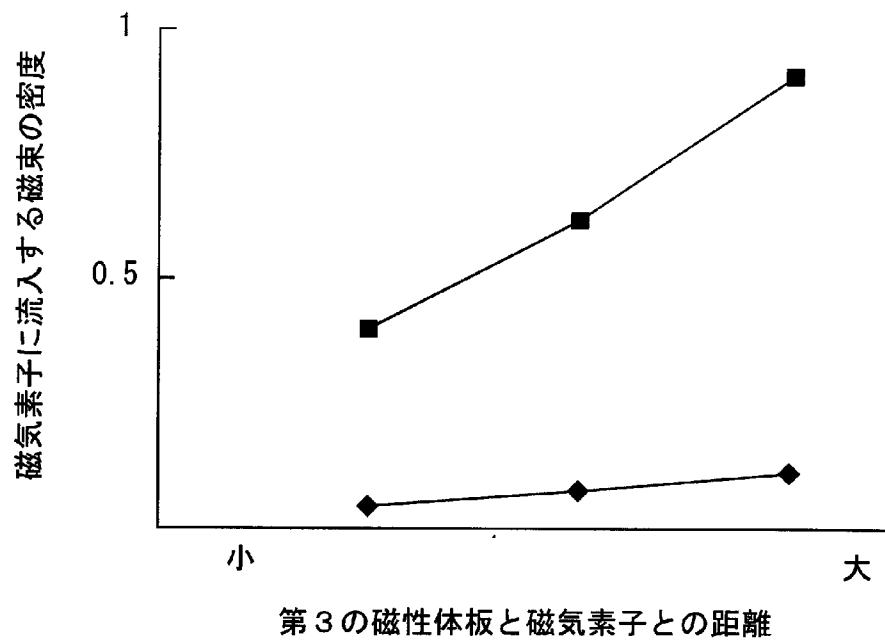
[図34]



[図35]

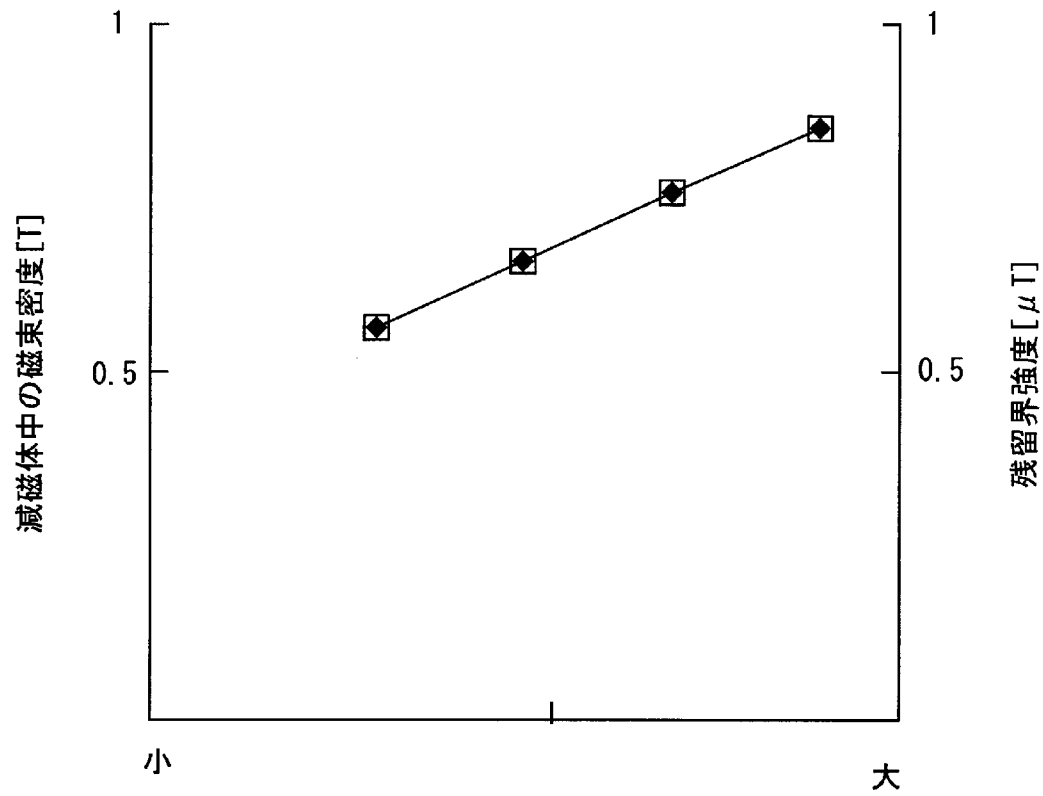


[図36]



- ◆ (a) 減磁体M11、磁気素子M12、バスバーB0の配置順
- (b) 磁気素子M12、減磁体M11、バスバーB0の配置順

[図37]

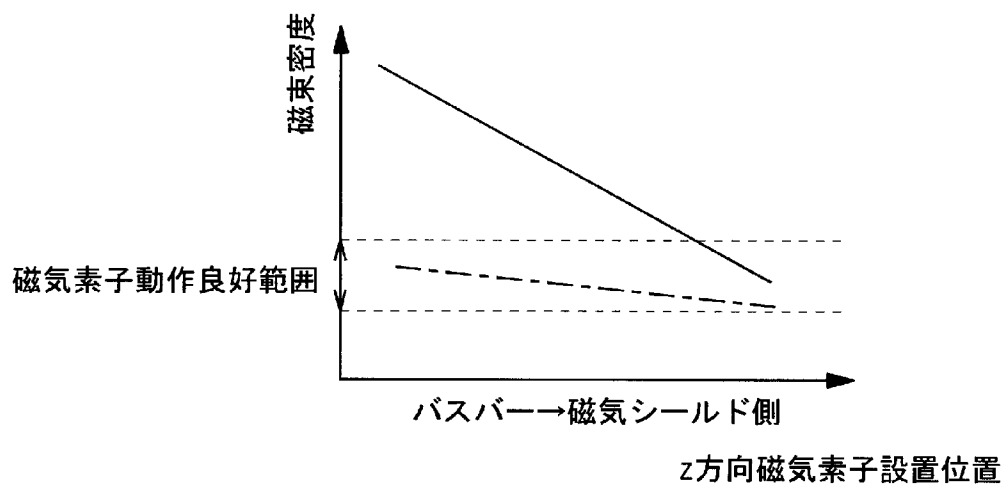


第1の磁性体板と第3の磁性体板との離間距離

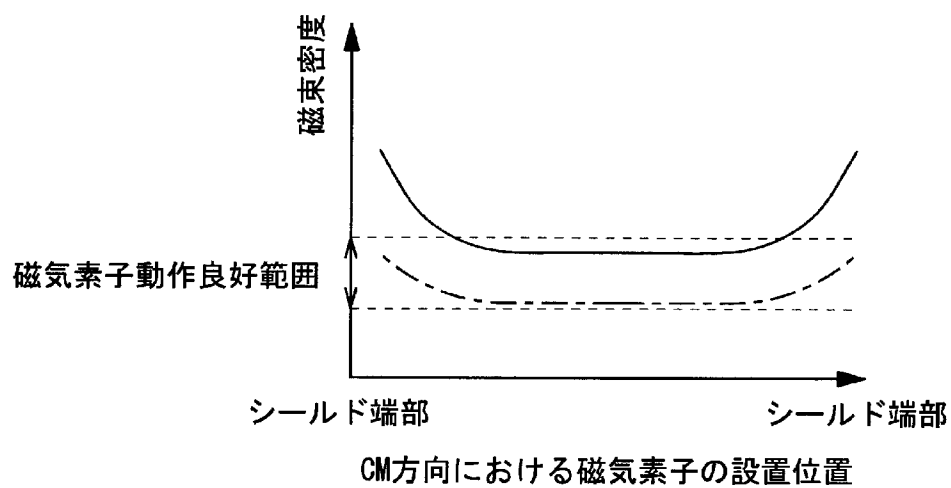
□ 減磁体中の磁束密度

◆ 磁気素子に流入する残留磁界

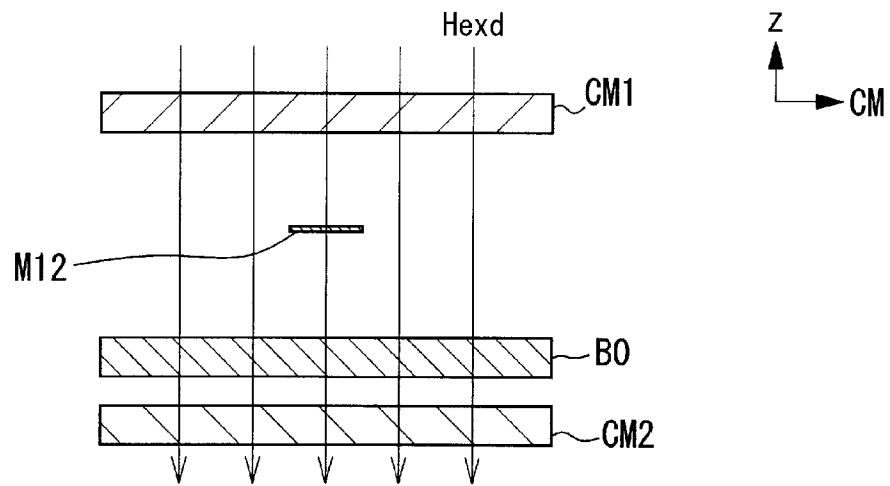
[図38A]



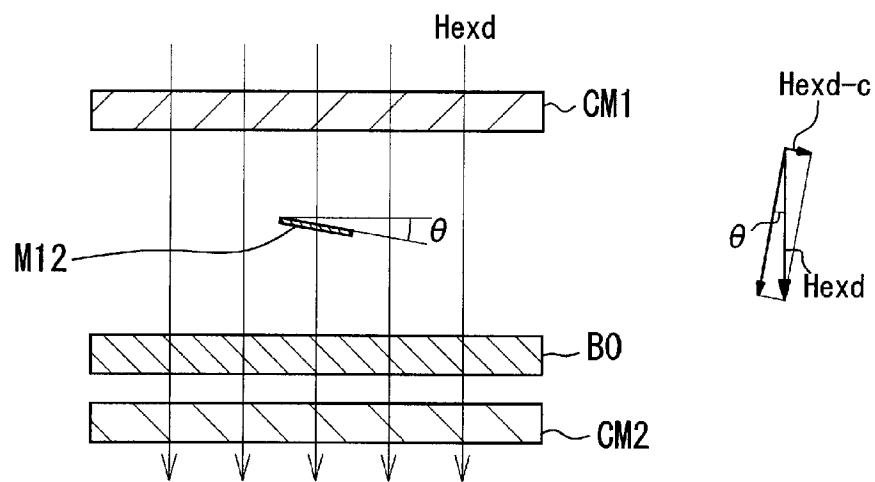
[図38B]



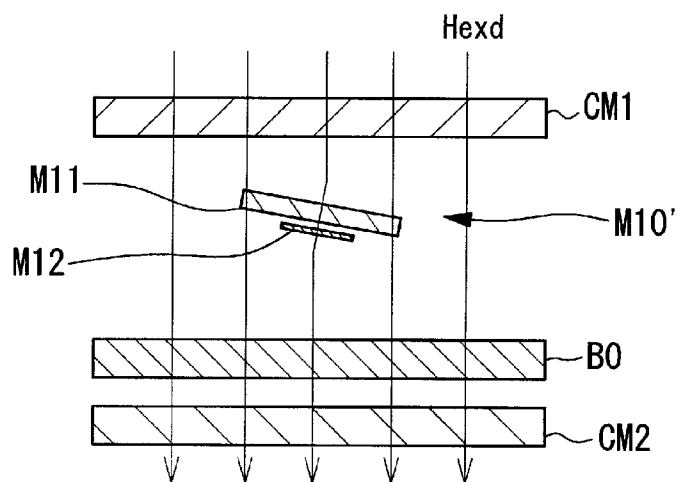
[図39A]



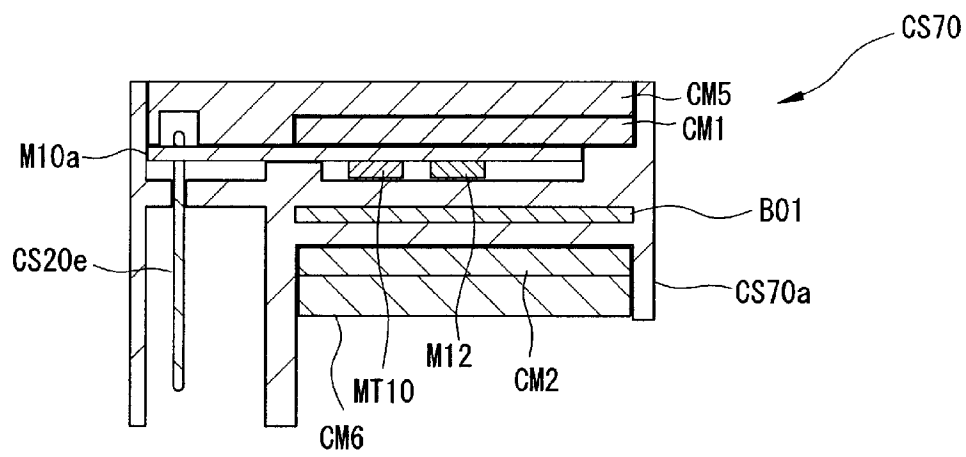
[図39B]



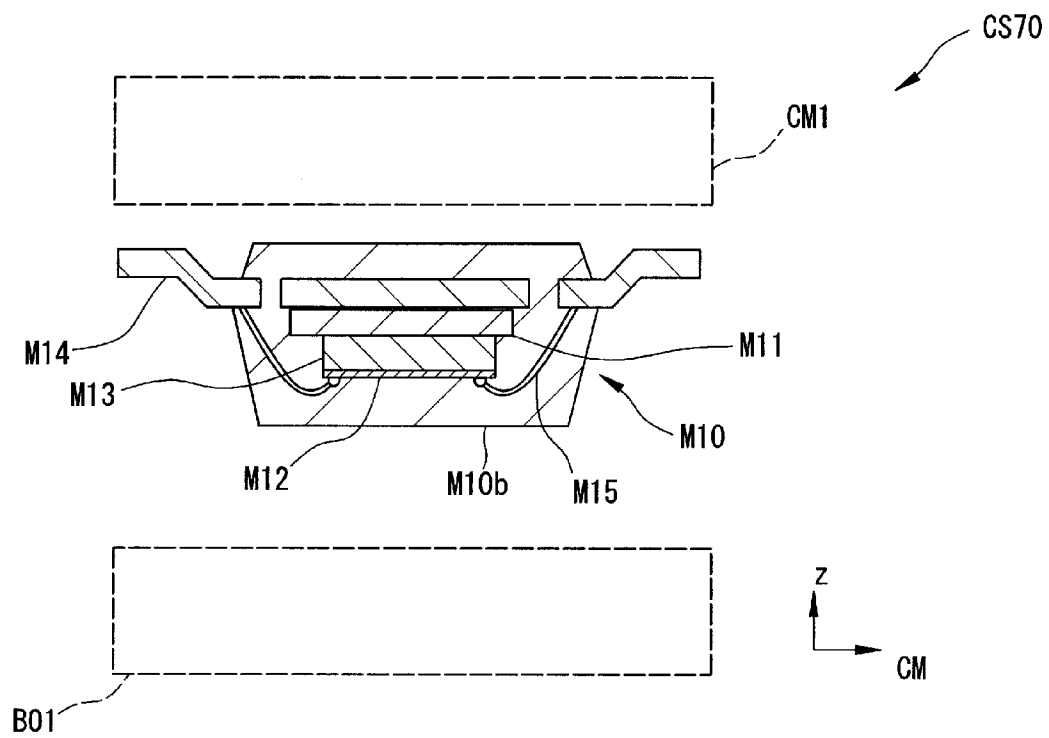
[図39C]



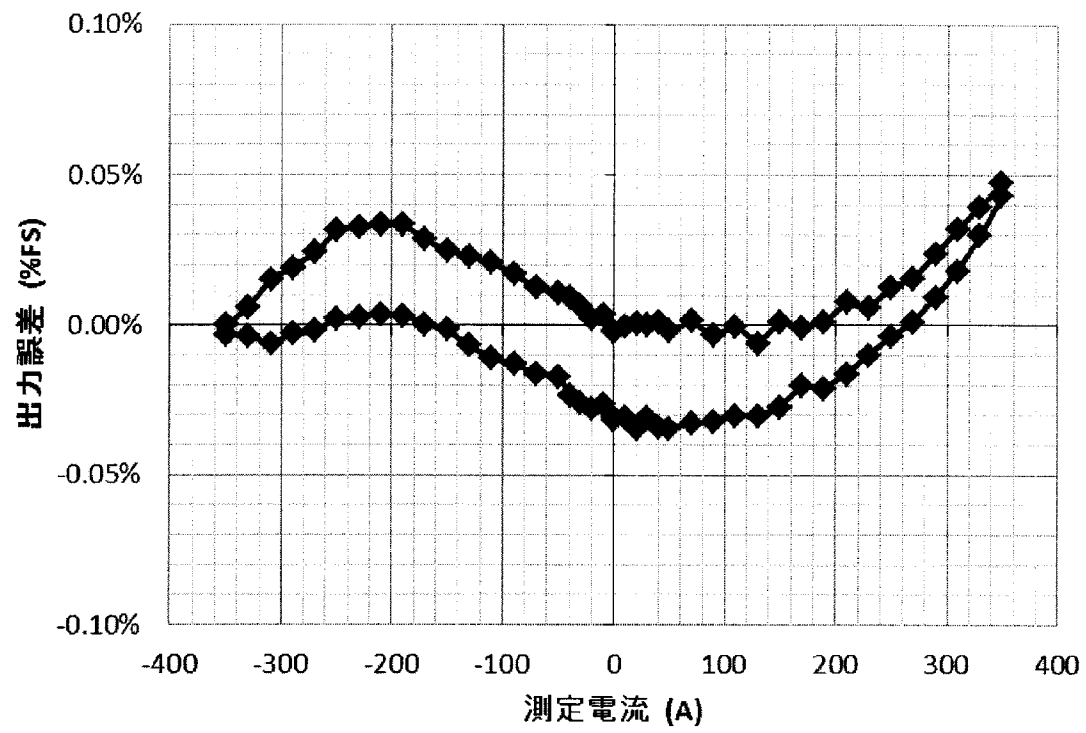
[図40]



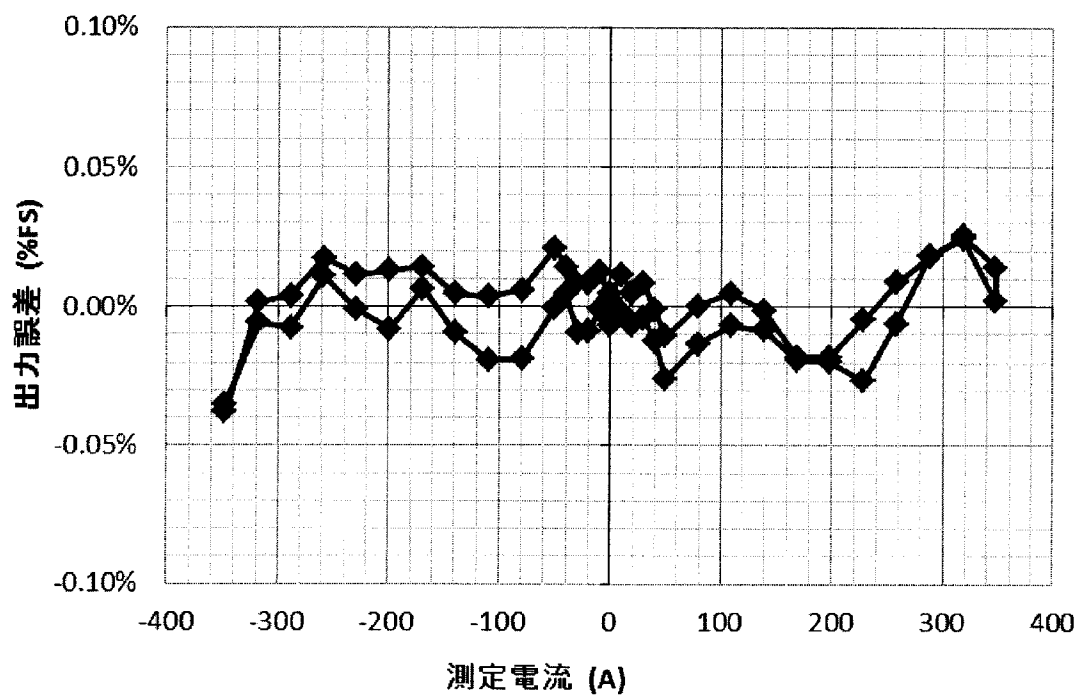
[図41]



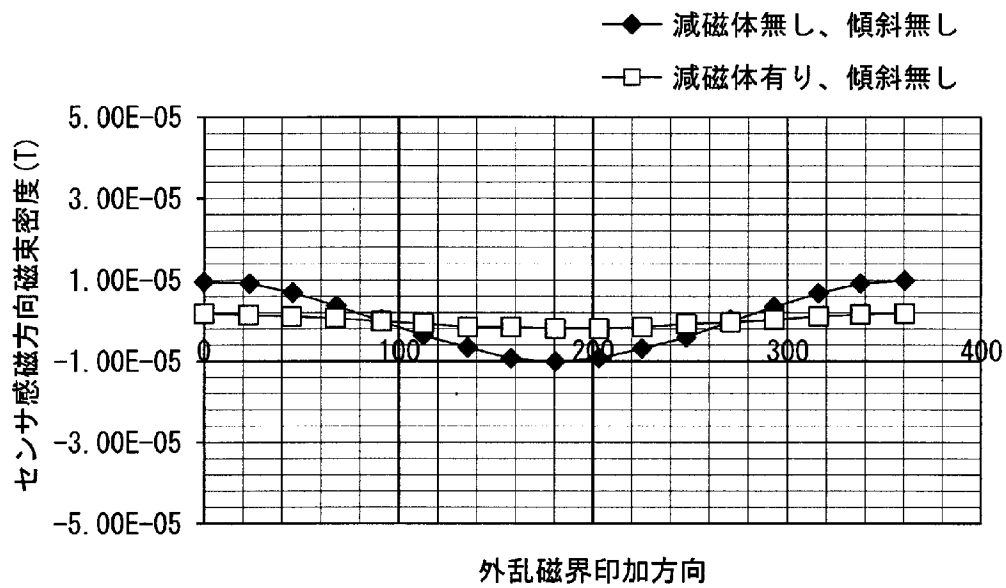
[図42]



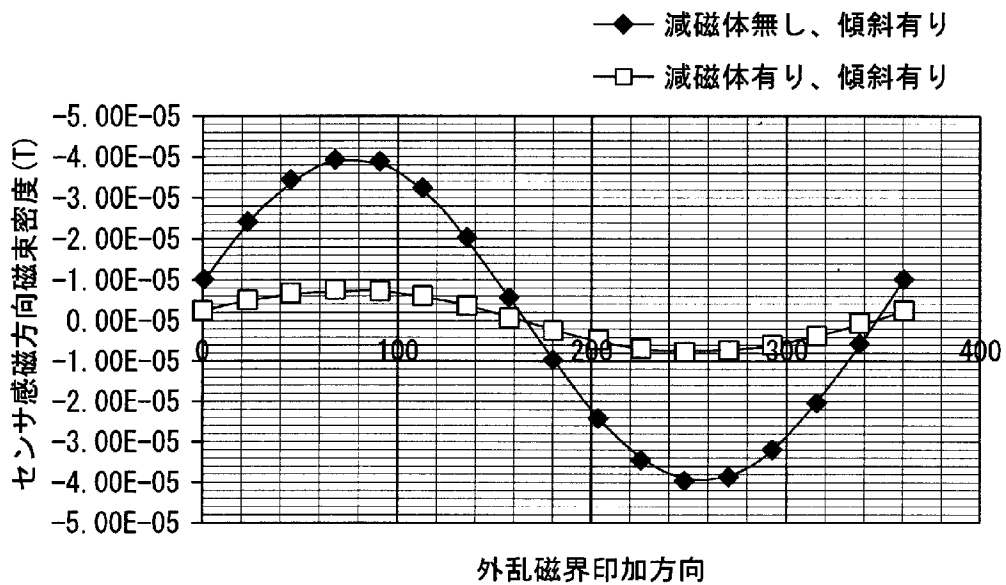
[図43]



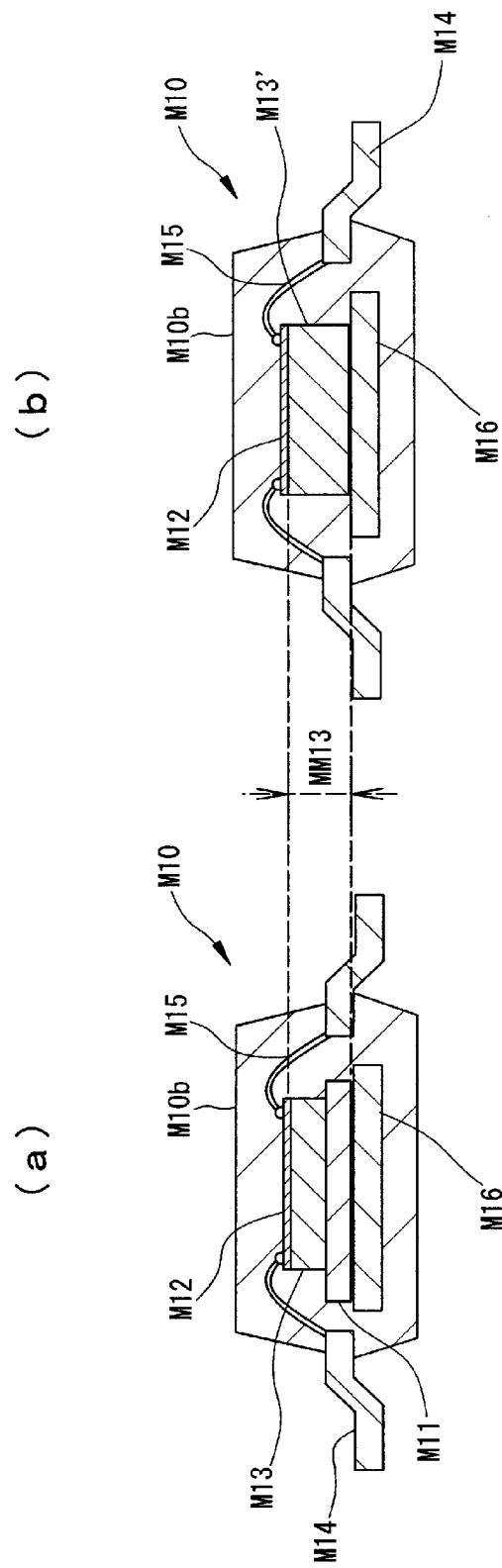
[図44]



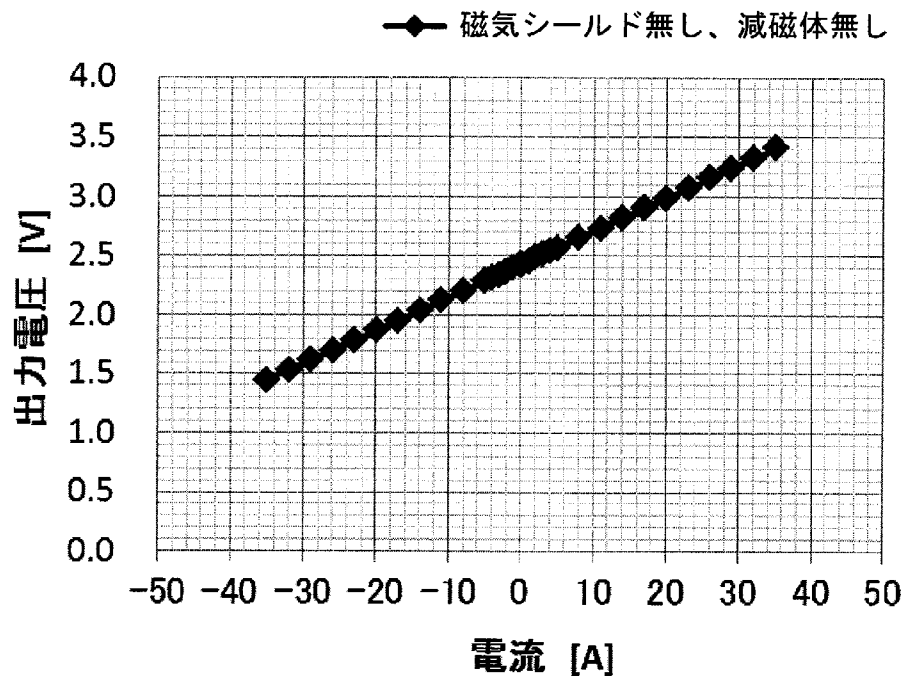
[図45]



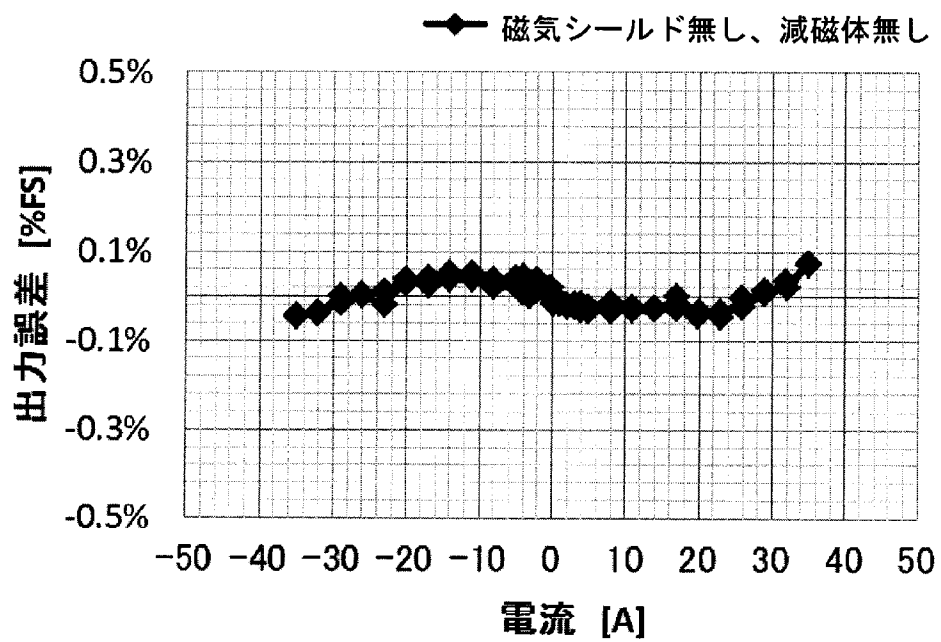
[図46]



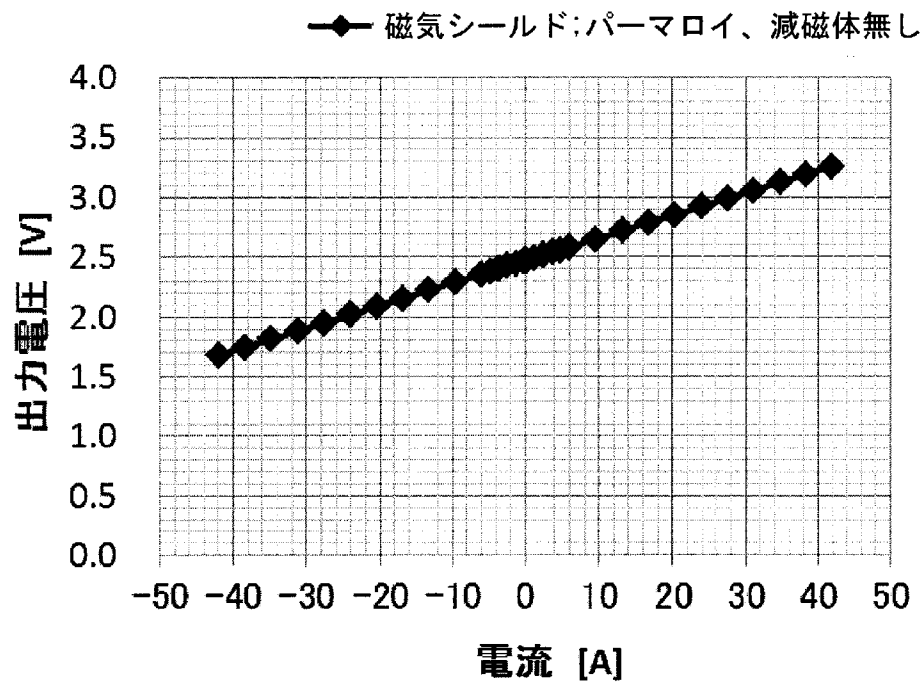
[図47]



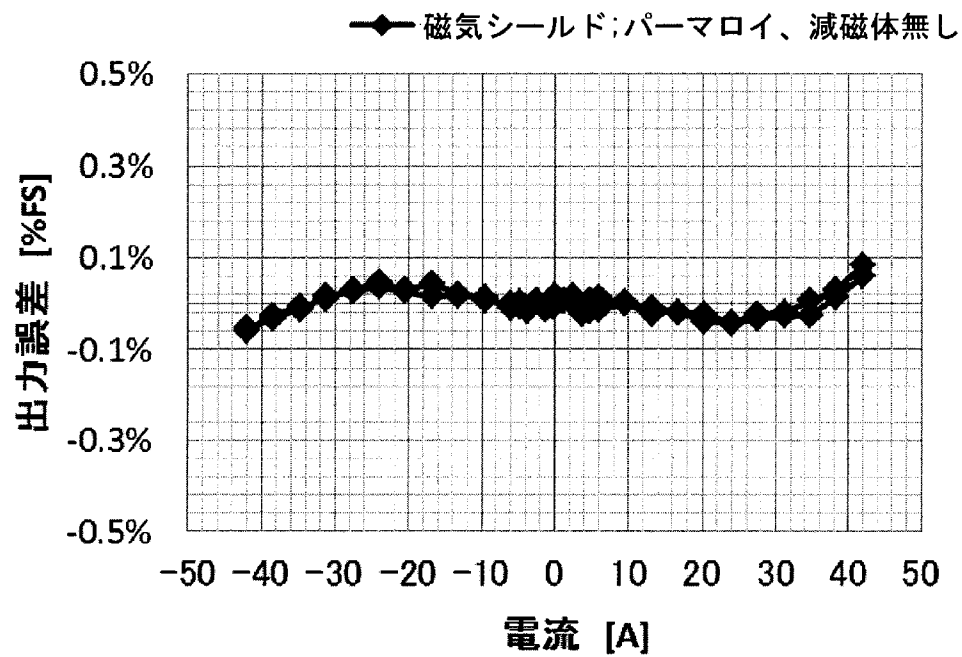
[図48]



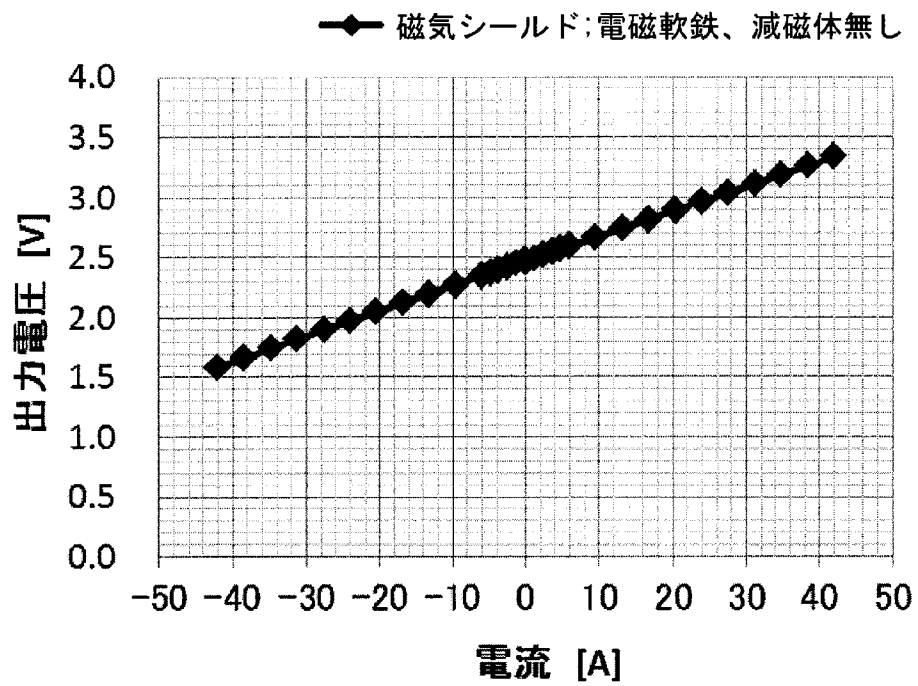
[図49]



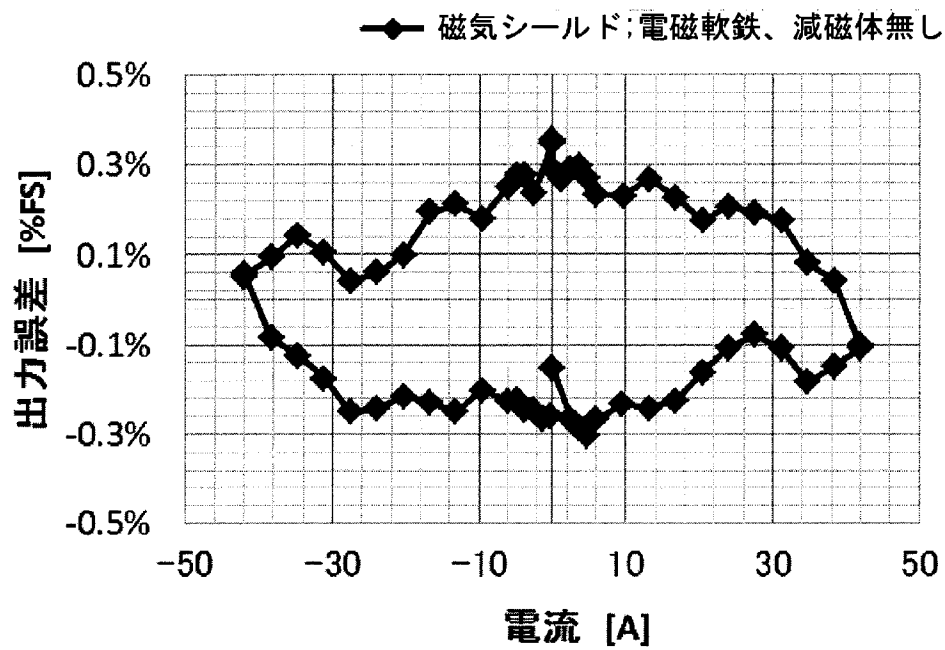
[図50]



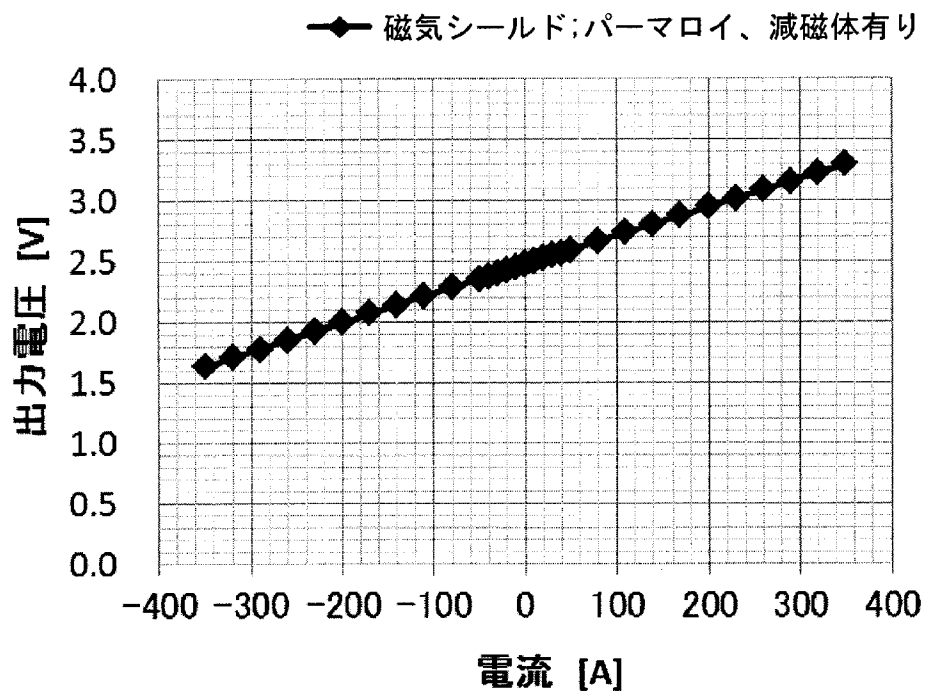
[図51]



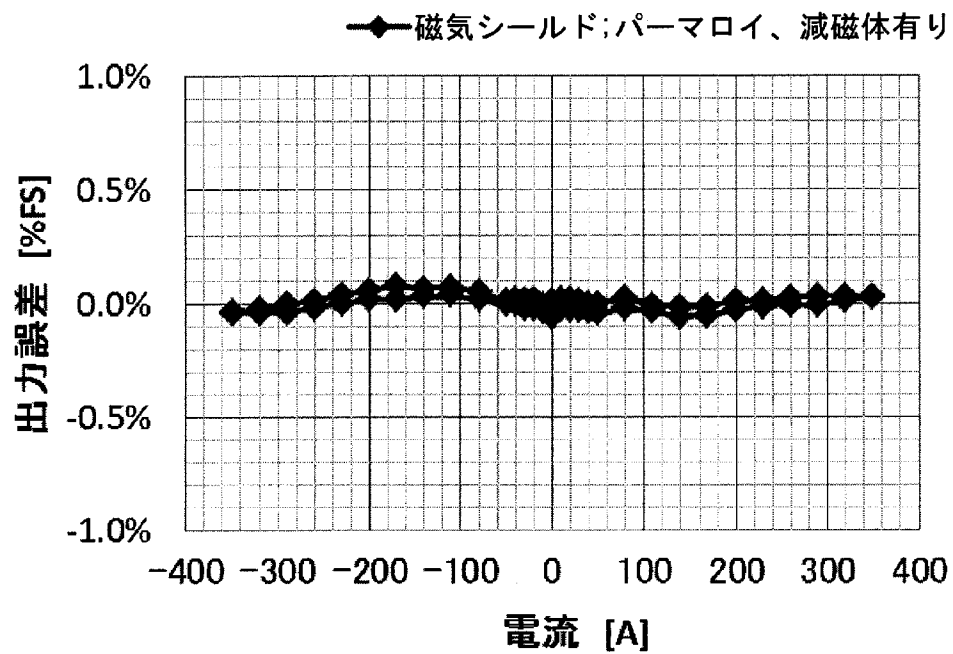
[図52]



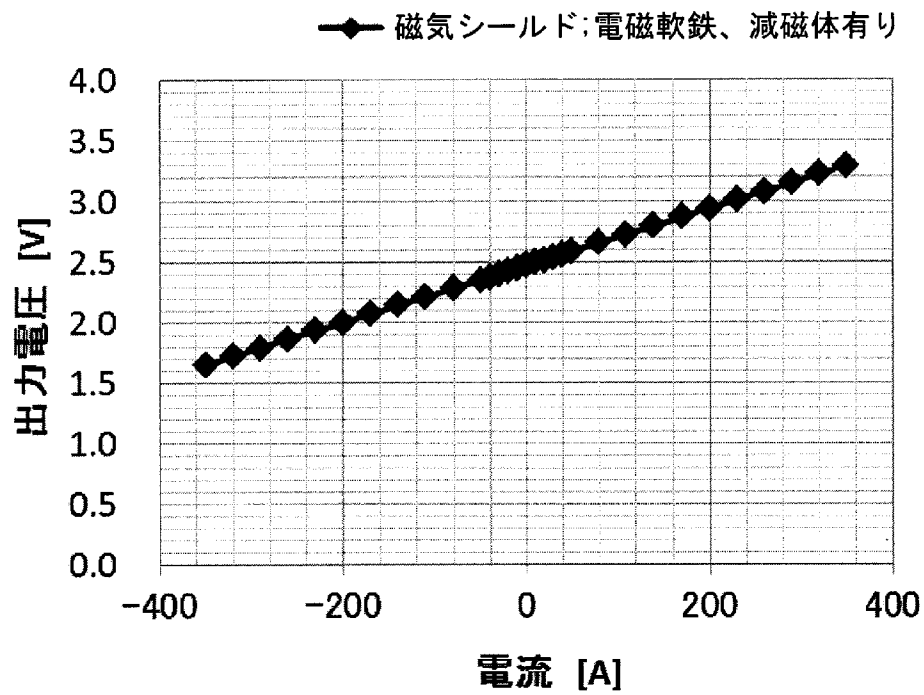
[図53]



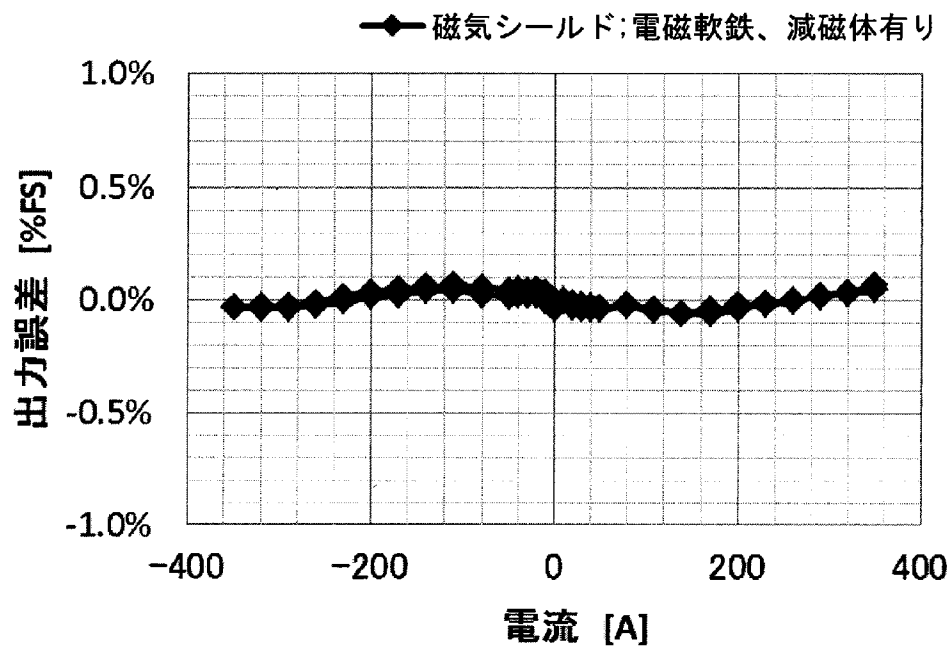
[図54]



[図55]



[図56]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/064530

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R15/20(2006.01) i, G01R33/05(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R15/20, G01R33/05

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2003/038452 A1 (Asahi Kasei Corp.), 08 May 2003 (08.05.2003), page 11, line 13 to page 12, line 17; fig. 8A to 10 & JP 4579538 B & US 2005/0030018 A1 & EP 1443332 A1 & DE 2775480 T & KR 10-0746546 B1 & CN 1578912 A & TW 273266 B	1-6
Y	JP 2003-329749 A (Asahi Kasei Corp., Sentron AG), 19 November 2003 (19.11.2003), entire text; all drawings (Family: none)	1-6

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
12 August, 2013 (12.08.13)

Date of mailing of the international search report
27 August, 2013 (27.08.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/064530

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2011/155527 A1 (Fujikura Ltd.), 15 December 2011 (15.12.2011), paragraphs [0062] to [0066]; fig. 9 to 10 (Family: none)	1-6

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
Int.Cl. G01R15/20(2006.01)i, G01R33/05(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. G01R15/20, G01R33/05

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2003/038452 A1（旭化成株式会社）2003.05.08, 第11頁第13行-第12頁第17行, 図8A-図10 & JP 4579538 B & US 2005/0030018 A1 & EP 1443332 A1 & DE 2775480 T & KR 10-0746546 B1 & CN 1578912 A & TW 273266 B	1-6
Y	JP 2003-329749 A（旭化成株式会社, センロトン アーゲー）2003.11.19, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-6
Y	WO 2011/155527 A1（株式会社フジクラ）2011.12.15, [0062]-[0066], 図9-図10（ファミリーなし）	1-6

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

1 2 . 0 8 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

2 7 . 0 8 . 2 0 1 3

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

越川 康弘

2 S

9 6 0 5

電話番号 03-3581-1101 内線 3258