

(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)



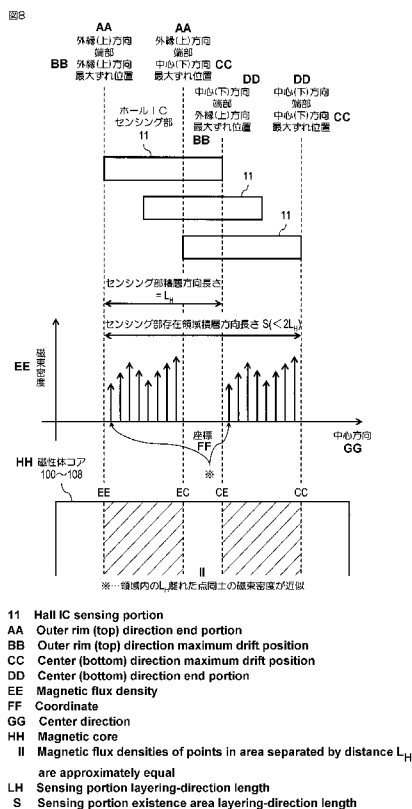
(10) 国際公開番号
WO 2013/175865 A1

- (51) 国際特許分類:
G01R 15/20 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/059609
- (22) 国際出願日: 2013 年 3 月 29 日(29.03.2013)
- (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 2012-120132 2012 年 5 月 25 日(25.05.2012) JP
- (71) 出願人: 日本航空電子工業株式会社 (JAPAN AVIATION ELECTRONICS INDUSTRY, LIMITED) [JP/JP]; 〒1500043 東京都渋谷区道玄坂一丁目 2 1 番 2 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 西村 央志 (NISHIMURA, Hisashi); 〒1500043 東京都渋谷区道玄坂一丁目 2 1 番 2 号 日本航空電子工業株式会社内 Tokyo (JP). 鈴木 利一 (SUZUKI, Toshikazu); 〒1500043 東京都渋谷区道玄坂一丁目 2 1 番 2 号 日本航空電子工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 中尾 直樹, 外 (NAKAO, Naoki et al.); 〒1600022 東京都新宿区新宿三丁目 1 番 2 2 号 新宿 NSOビル 4 階 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, 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

[続葉有]

(54) Title: CURRENT SENSOR

(54) 発明の名称: 電流センサ



(57) Abstract: The purpose of the invention is to provide a current sensor that even when using a magnetic core formed by layering multiple magnetic materials, is capable of reducing sensitivity fluctuation caused by position variation of a Hall element. The invention is provided with: the magnetic core, which comprises a gap in a portion of the circumference thereof, and is formed in a ring shape; and a magnetoelectric conversion element that is placed in the gap and detects magnetic flux that changes in accordance with a current for measurement that passes through a hollow portion of the magnetic core. The magnetic core is characterized by: being formed by layering multiple magnetic materials in a direction other than the circumference direction; and by being formed such that magnetic flux densities at two points are approximately equal, said points existing within an area (referred to below as the 'sensing portion existence area') predefined as an area in which a sensing portion of the magnetoelectric conversion element is capable of existing, said points being separated by a layering-direction distance that is the layering-direction length of the sensing portion.

(57) 要約: 複数の磁性材料を積層して形成した磁性体コアを用いても、ホール素子の位置バラツキによる感度の変動を抑えることができる電流センサを提供することを目的とする。周の一部にギャップを有し、環状に形成された磁性体コアと、ギャップに配置され、磁性体コアの中空部を通過する被測定電流に応じて変化する磁束を検出する磁電変換素子とを備える。磁性体コアが、複数の磁性材料を周方向以外の方向に積層して形成され、磁電変換素子のセンシング部が存在する領域として予め定めた領域（以下、センシング部存在領域という）内における、積層方向の距離がセンシング部の積層方向長さだけ離れた2点の磁束密度が近似するように形成されたことを特徴とする。

WO 2013/175865 A1

WO 2013/175865 A1



(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). 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、電流の測定や検出に用いられる磁気比例方式または磁気平衡方式の電流センサに関する。

背景技術

[0002] 磁気比例方式の電流検出器に関する先行技術として、例えば特許文献 1 がある。以下、図 2 1 を参照して特許文献 1 の第 5 実施形態の電流検出器について説明する。図 2 1 は、特許文献 1 の第 5 実施形態の電流センサを構成要素に分解して示した斜視図である。

[0003] 特許文献 1 の第 5 実施形態の電流検出器 9 0 は樹脂ケース 9 2 を備えており、この樹脂ケース 9 2 には板状のシートコア 9 4、9 6 が複数枚に重なり合った状態で收容される。これらシートコア 9 4、9 6 は、樹脂ケース 9 2 内に收容された状態で 1 つの磁性体コア 9 8 を構成する。図 2 1 ではシートコア 9 4、9 6 が 2 枚ずつ示されているが、実際の枚数はこれよりも多く、それらは図示を省略されている。

[0004] シートコア 9 4、9 6 はいずれも略角形の C 字形状をなしており、このような形状のシートコア 9 4、9 6 は、板状の磁性材料を打ち抜いて成形されている。その際、各シートコア 9 4、9 6 はその中央位置に開口部 9 4 a、9 6 a が形成されるとともに、この開口部 9 4 a、9 6 a から一側縁に向けて延びるギャップ用スリット 9 4 b、9 6 b が形成される。開口部 9 4 a、9 6 a は、シートコア 9 4、9 6 の外形に合わせた略角形である。

[0005] 樹脂ケース 9 2 内にシートコア 9 4、9 6 が重ね合わせた状態で收容されると、それらの開口部 9 4 a、9 6 a 及びギャップ用スリット 9 4 b、9 6 b が重ね合わせ方向でみて相互に合致する。これにより、多数のシートコア 9 4、9 6 から 1 つの磁性体コア 9 8 を構成した状態で、その中央位置に一続きの貫通穴が形成されるとともに、周方向の一部にコアギャップが形成さ

れることになる。

[0006] 樹脂ケース 92 内には、収容部 92 a 及びガイドスリーブ 92 b が形成されている。収容部 92 a は、図 21 に示される上方が開放されているが、その下方には底板 92 c が形成されている。ガイドスリーブ 92 b は底板 92 c 上から上方に延びており、その内部は中空の電流導通部 92 d として形成されている。ガイドスリーブ 92 b の外形はシートコア 94、96 の開口部 94 a、96 a より僅かに小さく、また、収容部 92 a の内側の寸法はシートコア 94、96 の外形よりも大きい。このためシートコア 94、96 を樹脂ケース 92 内に収容する際、各開口部 94 a、96 a がガイドスリーブ 92 b の外面に沿って案内されることで、シートコア 94、96 の相互の位置決めが容易に行われるものとなっている。

[0007] 樹脂ケース 92 には、シートコア 94、96 とともにホール素子 10 もまた収容される。ホール素子 10 は回路基板 12 に実装されており、この回路基板 12 は最外層のシートコア 96 の上面に重ね合わせられるようにして収容される。このときホール素子 10 は、各シートコア 94、96 のギャップ用スリット 94 b、96 b 間を通じて挿入されることで、磁性体コア 98 のコアギャップ内に位置付けられる。

[0008] 第 5 実施形態においては、一方のシートコア 94 が鉄-ニッケル合金（例えば PB = 45% パーマロイ、PC = 78% パーマロイ）を材料とするものであり、他方のシートコア 96 が無方向性珪素鋼板を材料とするものである。

[0009] この場合、シートコア 96 は無方向性珪素鋼板であり、電流検出用コアとしての磁気特性に劣る部分（特にヒステリシス巾）があるが、別のシートコア 94 はパーマロイであり、電流検出用コアとして優れた磁気特性（出力直線性、ヒステリシス巾、飽和特性）を有する。これら異なる磁性材料のシートコア 94、96 を互いに重ね合わせて磁性体コア 98 を構成することで、シートコア 96 に固有の欠点を別のシートコア 94 により補償することができる。その結果、磁性体コア 98 全体として良好な磁気特性を発揮すること

ができ、製品として十分な特性を発揮することができる。

[0010] また、第5実施形態では、比較的安価な磁性材料である無方向性珪素鋼板と、比較的高価な磁性材料であるパーマロイとを合わせて使用しているため、全体の中に占めるパーマロイの使用量を少なく抑えることができ、それだけ材料費の節減に寄与することができる。

先行技術文献

特許文献

[0011] 特許文献1：特開2008-224488号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] 以下、図1を参照して、特許文献1のように複数の材質を積層して形成した磁性体コアを用いる電流検出器の問題点について説明する。図1は、従来技術の複数の材質を積層して形成した磁性体コアを用いる電流検出器の問題点を模式的に示す図である。図1Aは、磁性体コア98のコアギャップにホール素子10が挿入された状態における図21中のA-A断面の模式図である。図1Bは、ホール素子センシング部11の位置バラツキおよび位置バラツキにより生じるホール素子センシング部11を貫く磁束総数のバラツキについて説明する模式図である。図1Aに破線で示すように、ホール素子10内には、磁性体コア98から発生する磁界を検知する領域であるホール素子センシング部11が存在する。ここで、ホール素子センシング部11を含むホール素子10は、回路基板12が収容部92aに収容され、磁性体コア98の最上段のシートコア上に設置されることにより、概略位置決めされる。なお、樹脂ケース92の収容部92a内は図示しないポッティング樹脂により封止される。しかしながら、ホール素子10をこのように概略位置決めしたとしても、図1Bの破線に示すように、ホール素子センシング部11の位置は、製品間で比較して位置バラツキが生じる場合がある。一般に製造工程簡易化のため、磁性体コアとホール素子との高精度な位置決めの構造を有し

ないことがほとんどである。従って、シートコア 94、96 が互いに透磁率の異なる材質であれば、被測定電流が等しい場合であっても、センシング部 11 を貫く磁束の総数が製品間でばらつくこととなり、電流センサの感度に誤差が生じてしまうという問題があった。また、製品間の位置バラツキだけでなく、使用時に電流センサ本体に振動が加わることなどによりセンシング部 11 の位置が変動して、電流センサの感度が変わってしまう場合もあった。

- [0013] そこで本発明では、複数の材質を積層して形成した磁性体コアを用いても、ホール素子の位置バラツキによる感度の変動を抑えることができる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

- [0014] 本発明の電流センサは、周の一部にギャップを有し、環状に形成された磁性体コアと、ギャップに配置され、磁性体コアの中空部を通過する被測定電流に応じて変化する磁束を検出する磁電変換素子とを備える。磁性体コアが、複数の材質を周方向以外の方向に積層して形成され、磁電変換素子のセンシング部が存在しうる領域として予め定めた領域（以下、センシング部存在領域という）内における、積層方向の距離がセンシング部の積層方向長さだけ離間した 2 点の磁束密度が近似するように形成されたことを特徴とする。
- [0015] また、上述のセンシング部存在領域の積層方向長さ S が、センシング部の積層方向長さ L_H の 2 倍よりも小さいものとし、磁性体コアが、センシング部存在領域内の磁束密度の積層方向の分布が長さ $(S - L_H) / m$ （ただし、 m は 1 以上の整数）の周期で規則性を有するように形成されていてもよい。
- [0016] また、上述のセンシング部存在領域の積層方向長さ S が、センシング部の積層方向長さ L_H の 2 倍以上であるものとし、磁性体コアが、センシング部存在領域内の磁束密度の積層方向の分布が長さ L_H / m （ただし、 m は 1 以上の整数）の周期で規則性を有するように形成されていてもよい。
- [0017] また、上述の磁性体コアが、複数の材質を不規則に積層して形成されていてもよい。

- [0018] また、上述の磁性体コアが、同心環状に積層して形成されていてもよい。
- [0019] また、上述の磁性体コアが、被測定電流の導通方向に積層して形成されていてもよい。
- [0020] また、上述の磁性体コアが、複数の異なる材質を積層した平板を環状に丸め、周の一部を切断して形成されていてもよい。
- [0021] また、上述の磁性体コアが、方向性電磁鋼とアモルファス磁性合金を交互に積層して形成されていてもよい。
- [0022] また、上述の磁性体コアが、方向性電磁鋼とフェライトを交互に積層して形成されていてもよい。

発明の効果

- [0023] 本発明の電流センサによれば、複数の材質を積層して形成した磁性体コアを用いても、ホール素子の位置バラツキによる感度の変動を抑えることができる。

図面の簡単な説明

- [0024] [図1A]磁性体コアのコアギャップにホール素子が挿入された状態における図21中のA-A断面の模式図。
- [図1B]ホール素子センシング部の位置バラツキおよび位置バラツキにより生じるホール素子センシング部を貫く磁束総数のバラツキについて説明する模式図。
- [図2]本発明の実施例に係る電流センサの主要構成要素の分解斜視図。
- [図3]本発明の実施例に係る電流センサが備える磁性体コアの斜視図。
- [図4A]本発明の実施例に係る電流センサが備えるホールICの平面図。
- [図4B]本発明の実施例に係る電流センサが備えるホールICの正面図。
- [図4C]本発明の実施例に係る電流センサが備えるホールICの右側面図。
- [図5]本発明の実施例に係る電流センサが備える磁性体コアとホールICセンシング部の位置関係を模式的に示す図（平面図）。
- [図6]本発明の実施例に係る電流センサが備える磁性体コアとホールICセンシング部の位置関係を模式的に示す図（正面図）。

[図7]本発明の実施例に係る電流センサが備えるホールICセンシング部の位置のバラツキを模式的に示す図。

[図8]実施例1の電流センサのギャップにおける磁束密度分布の特徴を模式的に示す図。

[図9]実施例2の電流センサのギャップにおける磁束密度分布の特徴を模式的に示す図。

[図10]実施例1の電流センサが備える磁性体コアの磁束密度分布の規則性を模式的に示す図。

[図11]実施例2の電流センサが備える磁性体コアの磁束密度分布の規則性を模式的に示す図。

[図12A]実施例1の電流センサに採用可能な応用例1を示す模式図。

[図12B]実施例1の電流センサに採用可能な応用例2を示す模式図。

[図12C]実施例1の電流センサに採用可能な応用例3を示す模式図。

[図13A]実施例1の電流センサに採用可能な応用例4を示す模式図。

[図13B]実施例1の電流センサに採用可能な応用例5を示す模式図。

[図13C]実施例1の電流センサに採用可能な応用例6を示す模式図。

[図14A]実施例1の電流センサに採用可能な応用例7を示す模式図。

[図14B]実施例1の電流センサに採用可能な応用例8を示す模式図。

[図14C]実施例1の電流センサに採用可能な応用例9を示す模式図。

[図15A]実施例2の電流センサに採用可能な応用例10を示す模式図。

[図15B]実施例2の電流センサに採用可能な応用例11を示す模式図。

[図15C]実施例2の電流センサに採用可能な応用例12を示す模式図。

[図16A]実施例2の電流センサに採用可能な応用例13を示す模式図。

[図16B]実施例2の電流センサに採用可能な応用例14を示す模式図。

[図16C]実施例2の電流センサに採用可能な応用例15を示す模式図。

[図17A]実施例2の電流センサに採用可能な応用例16を示す模式図。

[図17B]実施例2の電流センサに採用可能な応用例17を示す模式図。

[図17C]実施例2の電流センサに採用可能な応用例18を示す模式図。

[図18A]実施例3の電流センサに採用可能な応用例19を示す模式図。

[図18B]実施例3の電流センサに採用可能な応用例20を示す模式図。

[図18C]実施例3の電流センサに採用可能な応用例21を示す模式図。

[図18D]実施例3の電流センサに採用可能な応用例22を示す模式図。

[図18E]実施例3の電流センサに採用可能な応用例23を示す模式図。

[図18F]実施例3の電流センサに採用可能な応用例24を示す模式図。

[図19]センシング部積層方向長さが周期の整数倍にならない場合の磁束総数の変化について模式的に示す図。

[図20A]本発明の電流センサが備える磁性体コアの形状および積層方向のバリエーションであるリング形状、同心環状に積層した磁性体コアの例について示す斜視図。

[図20B]本発明の電流センサが備える磁性体コアの形状および積層方向のバリエーションであるリング形状、電流導通方向に積層した磁性体コアの例について示す斜視図。

[図20C]本発明の電流センサが備える磁性体コアの形状および積層方向のバリエーションである形状を略角形のC字形状とし同心環状に積層した磁性体コアの例について示す斜視図。

[図21]特許文献1の第5実施形態の電流センサを構成要素に分解して示した斜視図。

発明を実施するための形態

[0025] 以下、本発明の実施の形態について、詳細に説明する。なお、同じ機能を有する構成部には同じ番号を付し、重複説明を省略する。

[0026] 以下、図2、3、4を参照して、本発明の実施例にかかる電流センサの構成について説明する。図2は本発明の実施例に係る電流センサの主要構成要素の分解斜視図である。図3は本発明の実施例に係る電流センサが備える磁性体コアの斜視図である。図4は本発明の実施例に係る電流センサが備えるホールICの三面図であり、図4Aが平面図、図4Bが正面図、図4Cが右側面図である。

[0027] 本発明の実施例に係る電流センサは、電気自動車又はハイブリッド自動車などの車両において、バッテリーとモータなどの機器とを電氣的に接続するバスバーまたはケーブル等には流れる電流を検出する装置である。図2に示すように、本発明の実施例に係る電流センサは磁性体コア100（101から108、200から208、300から305、符号は後述する実施例毎に使い分ける）と、ホールIC15と、ホールIC15に接続されたリード線13と、ケース50と、蓋60とを備える。

[0028] <磁性体コア>

本発明の磁性体コア100（101から108、200から208、300から305）は、軟磁性材料（保磁力が小さく透磁率が高い材料、例えば鉄、ケイ素鋼、パーマロイ、センダスト、パーメンジュール、ソフトフェライト、アモルファス磁性合金、ナノクリスタル磁性合金、電磁鋼など）を複数種類積層して形成されている。電磁鋼としては、特定の方向に偏って磁化しないようにした無方向性鋼板、特定の方向のみに磁化しやすくなるようにした方向性鋼板がある。複数の材質の積層方向は、コアの周方向以外の方向であればどんな方向であってもよい。また、材質の種類は2種であってもよいし、3種でもよく、2種以上であれば何種類でもよい。さらに、複数の材質は、不規則に積層されていても構わない。詳細については後述する。

[0029] <ホールIC（磁電変換素子）>

本発明の電流センサが備えるホールIC15は、磁性体コア100（101から108、200から208、300から305）の中空部30に挿し通されるバスバーまたはケーブル等を流れる被測定電流に応じて変化する磁束を検出して、磁束の検出信号を電気信号として出力する。ホールIC15はリード線13を介して図示しない外部の回路に接続される。本発明ではホールIC15は、ホール素子と電気回路の組み合わせで実現してもよい。ホールIC15、ホール素子は磁電変換素子の一例である。

[0030] ケース50は、直方体の箱形状であって上面とひとつの側面が開口している。ケース50の底面55を貫通して円筒状のガイドスリーブ52が設けら

れており、ガイドスリーブ52の内腔（電流導通部54）には、図示しないバスバーまたはケーブル等を挿し通すことができる。ケース50側面の開口部に近接するガイドスリーブ52の外側面には、外側面に垂直な板状の凸部であるストッパ53が形成されている。ケース50内壁とガイドスリーブ52の外側面に囲まれた領域を収容部51と呼ぶ。図3に示すように、磁性体コア100（101から108、200から208、300から305）は、その周の一部にギャップ20を有し、環状に形成されている。磁性体コア100（101から108、200から208、300から305）は板状の材質を中空部30を囲んで長手方向に環状に丸めて形成され、その長手方向の両端がギャップ20を介して対向している。

[0031] ガイドスリーブ52の外形は磁性体コア100（101から108、200から208、300から305）の中空部30より僅かに小さい。またストッパ53のガイドスリーブ52周方向の幅は、ギャップ20のコア周方向の幅より僅かに小さい。また、収容部51の内側の寸法は磁性体コア100（101から108、200から208、300から305）の外形よりも大きい。このため磁性体コア100（101から108、200から208、300から305）をケース50内に収容する際、中空部30、およびギャップ20がガイドスリーブ52、およびストッパ53の外面に沿って案内され、底面55に載せられることで、磁性体コア100（101から108、200から208、300から305）の概略位置決めが行われる。

[0032] 蓋60の外面の略中心に鉛直下方向に長い長円凹部61が設けられており、長円凹部61内には、鉛直方向一行に図示しないリード線用穴が5つ設けられている。一方、図4に示すように、ホールIC15は、直方体形状のケース15bとケース15b内の図示しない磁電変換用回路基板、ホールICセンシング部11（破線で概略位置を図示）から構成される。ホールIC15の下端にはリード線13（13a、13b、13c、13d、13e）が5本設けられ、リード線13は、蓋60の長円凹部61に設けられたリード線用穴に通される。このとき、5本のリード線13のうち、中心のリード線

13cには、リード線13cの一部分を鐳状に太くした鐳部13c-1が設けられており、鐳部13c-1が上述のリード線穴に間（つか）えることで、ホールIC15を蓋60に対して保持する。蓋60は、ケース50の側面開口部に取り付けられる。このとき、ホールIC15のリード線13を設けた端部と反対側の端部15aは、ストッパ53に接触して概略位置決めされる。

[0033] 以下、図5、図6を参照して磁性体コア100（101から108、200から208、300から305）と、ホールICセンシング部11の位置関係について説明する。図5は本発明の実施例に係る電流センサが備える磁性体コアとホールICセンシング部の位置関係を模式的に示す図（平面図）である。図6は本発明の実施例に係る電流センサが備える磁性体コアとホールICセンシング部の位置関係を模式的に示す図（正面図）である。図5に示すように、ホールICセンシング部11のコア外縁方向の端部を外縁方向端部11aと呼ぶこととし、ホールICセンシング部11のコア中心方向の端部を中心方向端部11bと呼ぶこととする。また、図6に示すように、ホールICセンシング部11のコア上面方向の端部を上方向端部11cと呼ぶこととし、ホールICセンシング部11のコア下面方向の端部を下方向端部11dと呼ぶこととする。

[0034] 次に、図7を参照して、ホールICセンシング部11の位置バラツキについて説明する。図7に示すようにホールICセンシング部11はコア外縁—中心方向に対しても、コア上面—下面方向に対しても製品間、または使用時の振動の付加によって位置バラツキが生じる可能性がある。これは特許文献1の場合と同様である。本発明では、ホールICセンシング部11の位置バラツキとして最大に見積もった領域をセンシング部存在領域としてあらかじめ定義しておく。センシング部存在領域は、ケース50と磁性体コア100（101から108、200から208、300から305）の間に生じるガタの設計値、蓋60とケース50との間に生じるガタの設計値、蓋60とホールIC15との間で生じるガタの設計値から、理論的に生じうる最大の

ガタを計算することにより見積もってもよい。また、実際に組み立てられた製品を抜き取り検査して、組み立てられた状態のホール I C 1 5 の位置を実測して、見積もってもよい。センシング部存在領域は、ホール I C センシング部 1 1 が確実に存在する領域として、余裕を持って設定しておけばよい。センシング部存在領域の積層方向長さを S と表して、後述する磁性体コアの磁束密度分布決定の際のパラメータとして用いる。ここで、上述したように、本発明の磁性体コアの積層方向はコアの周方向以外の方向であればどんな方向でもよい。例えば、磁性体コアを同心環上に形成した場合には、積層方向はコア外縁ー中心方向となる。従って、この場合センシング部存在領域の積層方向長さ S とは、ホール I C センシング部 1 1 の外縁方向端部 1 1 a の外縁方向の最大ずれ位置、ホール I C センシング部 1 1 の中心方向端部 1 1 b の中心方向の最大ずれ位置に基づいて決められることになる。また、例えば、磁性体コアを被測定電流の導通方向に積層して形成した場合には、積層方向はコア上面ー下面方向となる。従って、この場合センシング部存在領域の積層方向長さ S とは、ホール I C センシング部 1 1 の上方向端部 1 1 c の上方向の最大ずれ位置、ホール I C センシング部 1 1 の下方向端部 1 1 d の下方向の最大ずれ位置に基づいて決められることになる。

[0035] センシング部存在領域について、図 8、図 9 を用いてさらに詳細に検討する。ここで、ホール I C センシング部 1 1 の積層方向長さを L_H と表し、以下、 $S < 2 L_H$ の場合を実施例 1 として説明し、以下、 $S \geq 2 L_H$ の場合を実施例 2 として説明を進める。図 8 は実施例 1 の電流センサのギャップにおける磁束密度分布の特徴を模式的に示す図である。図 9 は実施例 2 の電流センサのギャップにおける磁束密度分布の特徴を模式的に示す図である。

[0036] 図 8 に示すとおり、積層方向がコア外縁ー中心方向である場合、外縁方向端部 1 1 a の外縁方向最大ずれ位置の積層方向の座標を $E E$ と呼ぶ。同様に、外縁方向端部 1 1 a の中心方向最大ずれ位置の積層方向の座標を $E C$ と呼ぶ。同様に、中心方向端部 1 1 b の外縁方向最大ずれ位置の積層方向の座標を $C E$ と呼ぶ。同様に、中心方向端部 1 1 b の中心方向最大ずれ位置の積層

方向の座標をC Cと呼ぶ。

[0037] 一方、積層方向がコア上面－下面方向である場合、上方向端部1 1 cの上方向最大ずれ位置の積層方向の座標をE Eと呼ぶ。同様に、上方向端部1 1 cの下方向最大ずれ位置の積層方向の座標をE Cと呼ぶ。同様に、下方向端部1 1 dの上方向最大ずれ位置の積層方向の座標をC Eと呼ぶ。同様に、下方向端部1 1 dの下方向最大ずれ位置の積層方向の座標をC Cと呼ぶ。座標E E、E C、C E、C Cは図9においても同じ定義で用いられる。

[0038] 図8の場合、 $S < 2L_H$ が前提条件となっているため、積層方向がいずれであったとしても、座標の並びは、向かって左からE E、E C、C E、C Cの順になる。ここで、ホールI Cセンシング部1 1の左端が座標E Eにある状態からスタートして、徐々にホールI Cセンシング部1 1を図中右方向に移動させ、ホールI Cセンシング部1 1の右端を座標C Cに到達させることを考える。このとき、ホールI Cセンシング部1 1が右に移動するにつれて、座標E E右近傍で発生している磁束が、ホールI Cセンシング部1 1を通過しなくなることがわかる。その代わりに、座標C E右近傍で発生している磁束が、ホールI Cセンシング部1 1を新たに貫くようになる。従って、ホールI Cセンシング部1 1を貫く磁束の総数を一定に保ちたい場合には、ホールI Cセンシング部1 1の移動によってホールI Cセンシング部1 1に影響を及ぼさなくなる座標における磁束密度と、当該移動によって新たにホールI Cセンシング部1 1に影響を与える座標における磁束密度とが近似していればよいことになる。具体的には、座標E E近傍と座標C E近傍の磁束密度が近似していればよい。同様に、座標E C近傍と座標C C近傍の磁束密度が近似していればよい。これらの対応する座標はいずれも距離 L_H 離間している。なお、座標E Cと座標C Eの間については、磁束密度に何らの条件も課されない。 $S < 2L_H$ の条件では、この領域は、ホールI Cセンシング部1 1がセンシング部存在領域内のどんな位置にあったとしても常にホールI Cセンシング部1 1を貫通する磁束を発生しているため、ホールI Cセンシング部1 1を貫く磁束の総数に影響を与えないからである。

- [0039] また、ホールＩＣセンシング部１１に影響を与えない、図中のコア左端部から座標ＥＥの区間、座標ＣＣから図中のコア右端部の区間についてはホールＩＣセンシング部１１を貫く磁束の総数に影響を与えないため、何らの条件も課されない。
- [0040] 図８において説明した実施例１の電流センサの磁性体コア１００から１０８が満たすべき条件を再度まとめておく。実施例１の電流センサの磁性体コア１００から１０８は、センシング部存在領域内における積層方向の距離が L_H だけ離間した２点の磁束密度が近似するように形成されることを条件とする。 $S < 2L_H$ の条件では、座標ＥＣから座標ＣＥの区間における各座標において、対応する距離が L_H 離間する点がセンシング部存在領域の外にしか存在しないため、何らの条件も課されない。
- [0041] 一方、図９の場合、 $S \geq 2L_H$ が前提条件となっているため、積層方向がいずれであったとしても、座標の並びは、向かって左からＥＥ、ＣＥ、ＥＣ、ＣＣの順になる。ここで、ホールＩＣセンシング部１１の左端が座標ＥＥにある状態からスタートして、徐々にホールＩＣセンシング部１１を図中右方向に移動させ、ホールＩＣセンシング部１１の右端を座標ＣＣに到達させることを考える。このとき、ホールＩＣセンシング部１１が右に移動するにつれて、座標ＥＥ近傍で発生している磁束が、ホールＩＣセンシング部１１を通過しなくなることがわかる。その代わりに、座標ＣＥ近傍で発生している磁束が、ホールＩＣセンシング部１１を新たに貫くようになる。従って、ホールＩＣセンシング部１１を貫く磁束の総数を一定に保ちたい場合には、ホールＩＣセンシング部１１の移動によってホールＩＣセンシング部１１に影響を及ぼさなくなる座標における磁束密度と、当該移動によって新たにホールＩＣセンシング部１１に影響を与える座標における磁束密度とが近似していればよいことになる。具体的には、座標ＥＥ近傍と座標ＣＥ近傍の磁束密度が近似していればよい。これらの対応する座標はいずれも距離 L_H 離間している。ここまでは、図８と同様である。しかしながら、図９の場合は、図８に存在した座標ＥＣからＣＥ間の条件が課されない領域が存在しない。

- [0042] また、ホール I C センシング部 11 に影響を与えない、図中のコア左端部から座標 E E の区間、座標 C C から図中のコア右端部の区間についてはホール I C センシング部 11 を貫く磁束の総数に影響を与えないため、何らの条件も課されない。これは図 8 の場合と同じである。
- [0043] 図 9 において説明した実施例 2 の電流センサの磁性体コア 200 から 208 が満たすべき条件を再度まとめておく。実施例 2 の電流センサの磁性体コア 200 から 208 は、センシング部存在領域内における積層方向の距離が L_H だけ離間した 2 点の磁束密度が近似するように形成されることを条件とする。
- [0044] 図 8、図 9 で説明した本発明の上位概念は、 L_H 離間した領域内の任意の 2 点の磁束密度が近似していることのみを規定しているので、例えば、図 8 における座標 E E から C C 区間における磁束密度分布が不規則な分布であっても構わない。同様に、図 9 において座標 E E から C E 区間における磁束密度分布が不規則な分布であっても構わない。
- [0045] 以下、本発明の実施例 1、2 の磁性体コアから発生する磁束密度分布が満たすべき条件について、図 10、図 11 を参照してさらに詳細に検討する。図 10 は実施例 1 の電流センサが備える磁性体コアの磁束密度分布の規則性を模式的に示す模式図である。図 11 は実施例 2 の電流センサが備える磁性体コアの磁束密度分布の規則性を模式的に示す図である。
- [0046] 前述したように、本発明の上位概念では、 L_H 離間した存在領域内の任意の 2 点の磁束密度が近似することにより相互に補償し合う関係にあれば、電流センサの感度の変動を抑えることができる。換言すれば、実施例 1 の $S < 2L_H$ の条件では、座標 E E と座標 E C の積層方向距離が $S - L_H$ であるから、少なくとも座標 E E から E C 間に波長 $\lambda_B = S - L_H$ の周期的分布が存在し、座標 C E から C C 間にも同様に、波長 $\lambda_B = S - L_H$ の周期的分布が存在すれば補償関係が成立することになる。さらに、磁束密度分布の波長 λ_B については、図 10 に示すように、磁束密度分布が $(S - L_H) / m$ (ただし、 m は 1 以上の整数) の周期で規則性を有するようにしても補償関係が成立する。図

10 の中段のグラフにおいては $m = 4$ として図示してある。

- [0047] 一方、実施例 2 の $S \geq 2 L_H$ の条件では、座標 E E と座標 C E の積層方向距離が L_H であるから、少なくとも座標 E E から C E 間に波長 $\lambda_B = L_H$ の周期的分布が存在し、続く長さ L_H の各区間においても波長 $\lambda_B = L_H$ の周期的分布が存在し、座標 E C から C C 間にも同様に、波長 $\lambda_B = L_H$ の周期的分布が存在すれば補償関係が成立することになる。さらに、磁束密度分布の波長 λ_B については、図 1 1 に示すように、磁束密度分布が L_H / m (ただし、 m は 1 以上の整数) の周期で規則性を有するようにしても補償関係が成立する。図 1 1 の中段のグラフにおいては $m = 3$ として図示してある。

実施例 1

- [0048] 以下、図 1 2 を参照して、実施例 1 の電流センサの磁性体コアに採用可能な応用例 1 から応用例 3 について説明する。図 1 2 は実施例 1 の電流センサに採用可能な応用例を示す模式図である。図 1 2 A は応用例 1 の磁性体コア 1 0 0 の構成を示す模式図、図 1 2 B は応用例 2 の磁性体コア 1 0 1 の構成を示す模式図、図 1 2 C は応用例 3 の磁性体コア 1 0 2 の構成を示す模式図である。

- [0049] [応用例 1]

上述したように、 L_H 離間した存在領域内の任意の 2 点の磁束密度が近似していることが条件となり、座標 E C から C E 間における磁束密度には何らの条件も課されないものであるから、例えば、座標 E E から E C 間については、磁束密度がフラットな分布となるように、一種類の磁性体 (第 1 磁性体 1 とする) のみで構成することとし、座標 E E から E C 間の各座標点から L_H 離間した点が存在する座標 C E から C C 間についても同じ第 1 磁性体 1 のみで構成して、座標 C E から C C 間がフラットな磁束密度分布とすればよい。磁性体コア 1 0 0 の図中のコア左端部から座標 E E の区間、座標 C C から図中のコア右端部の区間、座標 E C から C E 間の区間については何らの条件も課されないため、例えば第 1 磁性体 1 とは異なる第 2 磁性体 2 の層を形成すればよい。

[0050] [応用例 2]

磁性体コア 100 を変形した応用例として、本応用例の磁性体コア 101 のように、座標 EC から CE 間の区間について第 1 磁性体 1 と第 2 磁性体 2 と異なる材質（第 4 磁性体 4 とする）で構成してもよい。この場合 3 種類の磁性体で磁性体コアが形成されたことになる。

[0051] [応用例 3]

磁性体コア 100 を変形した応用例として、本応用例の磁性体コア 102 のように、図中のコア左端部から座標 EE の区間、座標 CC から図中のコア右端部の区間、座標 EC から CE 間の区間を磁性体でない物質（非磁性体 9 とする）で構成してもよい。このように、非磁性体が含まれる場合でも、磁束の補償関係が成り立つ限り、ホール IC センシング部 11 の位置ずれによる電流センサの感度の変動を抑制することができる。これ以外にも、図中のコア左端部から座標 EE の区間、座標 CC から図中のコア右端部の区間、座標 EC から CE 間の区間については、複数種類の磁性体を積層して構成してもよい。

[0052] 以下、図 13 を参照して、実施例 1 の電流センサの磁性体コアに採用可能な応用例 4 から応用例 6 について説明する。図 13 は実施例 1 の電流センサに採用可能な応用例を示す模式図である。図 13 A は応用例 4 の磁性体コア 103 の構成を示す模式図、図 13 B は応用例 5 の磁性体コア 104 の構成を示す模式図、図 13 C は応用例 6 の磁性体コア 105 の構成を示す模式図である。

[0053] [応用例 4]

上述したように、 L_H 離間した存在領域内の任意の 2 点の磁束密度が近似していることが条件となり、座標 EC から CE 間における磁束密度には何らの条件も課されない。従って、例えば、EE から EC 間において二種類の磁性体を任意のパターンに配置し、CE から CC 間において、EE から EC 間に用いられた二種類の磁性体を、EE から EC 間における配置と同じパターンに配置して磁性体を形成しても良い。図 13 A に示すように、本応用例の磁

磁性体コア 103 は、座標 E E から E C、C E から C C の区間において、第 1 磁性体 1 と第 3 磁性体 3 が交互に配置されて、同一の磁束密度分布を形成している。なお、本応用例、および以下の応用例 5 から 9 においては、図中のコア左端部から座標 E E の区間、座標 C C から図中のコア右端部の区間、座標 E C から C E 間の区間についての言及を省略するが、この区間については、応用例 1 から 3 同様、磁性体、非磁性体、複数種類の磁性体を積層して形成するなど任意の構成で構わない。

[0054] [応用例 5]

本応用例の磁性体コア 104 は、座標 E E から E C、C E から C C の区間において、第 1 磁性体 1 と第 3 磁性体 3 が交互に配置されて、同一の磁束密度分布を形成されている点で応用例 4 と同じであるが、第 1 磁性体 1 と第 3 磁性体 3 の層の厚みを異ならせてある。具体的には第 3 磁性体 3 を第 1 磁性体 1 の層よりも薄く形成した。

[0055] [応用例 6]

本応用例の磁性体コア 105 は、応用例 4、5 と同じように、座標 E E から E C、C E から C C の区間において、2 種類の材質を交互に配置して形成されている。本応用例の磁性体コア 105 は、磁性体（図中、第 3 磁性体 3 と表記したが、磁性体の種類に特に制限はない）と、非磁性体 9 とを交互に積層して形成されている。このように、座標 E E から E C、C E から C C の区間において、磁性体と非磁性体とを用いて、任意のパターンで積層することによっても磁性体コアを形成することができる。

[0056] 以下、図 14 を参照して、実施例 1 の電流センサの磁性体コアに採用可能な応用例 7 から応用例 9 について説明する。図 14 は実施例 1 の電流センサに採用可能な応用例を示す模式図である。図 14 A は応用例 7 の磁性体コア 106 の構成を示す模式図、図 14 B は応用例 8 の磁性体コア 107 の構成を示す模式図、図 14 C は応用例 9 の磁性体コア 108 の構成を示す模式図である。

[0057] [応用例 7]

上述したように、 L_H 離間した存在領域内の任意の 2 点の磁束密度が近似していることが条件となり、座標 E C から C E 間における磁束密度には何らの条件も課されない。従って、例えば、E E から E C 間において三種類の磁性体を任意のパターンに配置し、C E から C C 間において、E E から E C 間に用いられた三種類の磁性体を、E E から E C 間における配置と同じパターンに配置して磁性体を形成しても良い。図 14 A に示すように、本応用例の磁性体コア 106 は、座標 E E から E C、C E から C C の区間において、第 1 磁性体 1 と第 2 磁性体 2 と第 3 磁性体 3 とが同一のパターンに配置されて、同一の磁束密度分布を形成している。

[0058] [応用例 8]

応用例 7 と同様に、本応用例の磁性体コア 107 は、座標 E E から E C、C E から C C の区間において、第 1 磁性体 1 と第 2 磁性体 2 と第 3 磁性体 3 が配置されて、同一の磁束密度分布を形成している。本応用例では、第 1 磁性体 1 を他の層よりも厚く形成している。

[0059] [応用例 9]

本応用例の磁性体コア 108 は、座標 E E から E C、C E から C C の区間において、4 種の磁性体（第 1 磁性体 1、第 2 磁性体 2、第 3 磁性体 3、第 4 磁性体 4）を配置して形成されて、同一の磁束密度分布を形成している。このように、応用例 7 から応用例 9 では、複数種類の磁性体を不規則に配置して形成された磁性体コアを示したが、これらを規則的に配置して磁性体コアを形成することも可能であることはいうまでもない。この場合、図 10 で説明したように $S < 2 L_H$ の条件では、磁束密度分布の波長 $\lambda_B = (S - L_H) / m$ （ただし、 m は 1 以上の整数）の周期で規則性を有するようにしても補償関係が成立する。

[0060] このように、本発明の実施例 1 の電流センサの磁性体コア 100 から 108 によれば、ギャップ 20 にホール IC 15 を配置する場合の位置バラツキによる電流センサ感度の変動が抑制されるため、電流センサの製品間（動作間）バラツキを抑え、より高精度な電流センサを実現することができる。

[0061] また、本発明の実施例 1 の電流センサの磁性体コア 100 から 108 のように、複数の材質による積層構造を採用することにより、それぞれの材質がもつデメリットを補い、それぞれの物質がもつメリットを享受することができる。例えば電磁鋼板は、渦電流損等の鉄損により、10kHz 以上の高周波電流の測定が出来ないというデメリットを有するが、電磁鋼板と周波数特性の良い材料とを組み合わせることで磁性体コアを形成することで周波数特性が改善された電流センサを実現できる。また、例えばフェライトは、飽和磁束密度が小さく大電流領域においてセンサ感度が低下してしまうというデメリットを有するが、フェライトと飽和磁束密度の高い方向性電磁鋼板とを積層して磁性体コアを形成することで大電流領域の感度を改善した電流センサを実現できる。また、アモルファス磁性合金は軟磁性材料としての特性は良好だが、機械的強度が弱いというデメリットを有するが、アモルファス磁性合金と機械的強度の高い方向性電磁鋼板とを積層して磁性体コアを形成することで、機械的強度の高い磁性体コア並びに電流センサを実現できる。

実施例 2

[0062] 以下、図 15 を参照して、実施例 2 の電流センサの磁性体コアに採用可能な応用例 10 から応用例 12 について説明する。図 15 は実施例 2 の電流センサに採用可能な応用例を示す模式図である。図 15 A は応用例 10 の磁性体コア 200 の構成を示す模式図、図 15 B は応用例 11 の磁性体コア 201 の構成を示す模式図、図 15 C は応用例 12 の磁性体コア 202 の構成を示す模式図である。

[0063] [応用例 10]

上述したように、 L_H 離間した存在領域内の任意の 2 点の磁束密度が近似していることが条件となるから、例えば、座標 EE から CC 間については、磁束密度がフラットな分布となるように、一種類の磁性体（第 1 磁性体 1）のみで構成すればよい。磁性体コア 200 の図中のコア左端部から座標 EE の区間、座標 CC から図中のコア右端部の区間については何らの条件も課されないため、例えば第 1 磁性体 1 とは異なる第 2 磁性体 2 の層を形成すればよ

い。

[0064] [応用例 1 1]

磁性体コア 200 を変形した応用例として、本応用例の磁性体コア 201 のように、座標 C C から図中のコア右端部の区間について第 1 磁性体 1 と第 2 磁性体 2 と異なる材質（第 4 磁性体 4 とする）で構成してもよい。この場合 3 種類の磁性体で磁性体コアが形成されたことになる。

[0065] [応用例 1 2]

磁性体コア 200 を変形した応用例として、本応用例の磁性体コア 202 のように、図中のコア左端部から座標 E E の区間、座標 C C から図中のコア右端部の区間を磁性体でない物質（非磁性体 9）で構成してもよい。このように、非磁性体が含まれる場合でも、磁束の補償関係が成り立つ限り、ホール IC センシング部 11 の位置ずれによる電流センサの感度の変動を抑制することができる。これ以外にも、図中のコア左端部から座標 E E の区間、座標 C C から図中のコア右端部の区間については、複数種類の磁性体を積層して構成してもよい。

[0066] 以下、図 16 を参照して、実施例 2 の電流センサの磁性体コアに採用可能な応用例 13 から応用例 15 について説明する。図 16 は実施例 2 の電流センサに採用可能な応用例を示す模式図である。図 16 A は応用例 13 の磁性体コア 203 の構成を示す模式図、図 16 B は応用例 14 の磁性体コア 204 の構成を示す模式図、図 16 C は応用例 15 の磁性体コア 205 の構成を示す模式図である。

[0067] [応用例 1 3]

上述したように、 L_H 離間した存在領域内の任意の 2 点の磁束密度が近似していることが条件となる。従って、図 11 で説明したように $S \geq 2 L_H$ の条件では、磁束密度分布の波長 $\lambda_B = L_H / m$ （ただし、 m は 1 以上の整数）の周期で規則性を有するようにしても補償関係が成立する。図 16 A に示すように、本応用例の磁性体コア 203 は、座標 E E から C C の区間において、第 1 磁性体 1 と第 3 磁性体 3 が交互に配置されて、波長 $\lambda_B = L_H / 3$ となるよ

うに形成されている。なお、本応用例、および以下の応用例 14 から 18 においては、図中のコア左端部から座標 E E の区間、座標 C C から図中のコア右端部の区間についての言及を省略するが、この区間については、応用例 1 から 3 や応用例 10 から 12 同様、磁性体、非磁性体、複数種類の磁性体を積層して形成するなど任意の構成で構わない。

[0068] [応用例 14]

本応用例の磁性体コア 204 は、座標 E E から C C の区間において、第 1 磁性体 1 と第 3 磁性体 3 が交互に配置されて、波長 $\lambda_B = L_H / 3$ となるように形成されている点で応用例 13 と同じであるが、第 1 磁性体 1 と第 3 磁性体 3 の層の厚みを異ならせてある。具体的には第 3 磁性体 3 を第 1 磁性体 1 の層よりも薄く形成した。

[0069] [応用例 15]

本応用例の磁性体コア 205 は、応用例 13、14 と同じように、座標 E E から C C の区間において、2 種類の材質が交互に配置されて、波長 $\lambda_B = L_H / 3$ となるように形成されている。本応用例の磁性体コア 205 は、磁性体（図中、第 3 磁性体 3 と表記したが、磁性体の種類に特に制限はない）と、非磁性体 9 とを交互に積層して形成されている。このように、座標 E E から C C の区間において、磁性体と非磁性体とを用いて、波長 $\lambda_B = L_H / m$ で積層することによっても磁性体コアを形成することができる。

[0070] 以下、図 17 を参照して、実施例 2 の電流センサの磁性体コアに採用可能な応用例 16 から応用例 18 について説明する。図 17 は実施例 2 の電流センサに採用可能な応用例を示す模式図である。図 17 A は応用例 16 の磁性体コア 206 の構成を示す模式図、図 17 B は応用例 17 の磁性体コア 207 の構成を示す模式図、図 17 C は応用例 18 の磁性体コア 208 の構成を示す模式図である。

[0071] [応用例 16]

上述したように、 L_H 離間した存在領域内の任意の 2 点の磁束密度が近似していることが条件となる。従って、図 11 で説明したように $S \geq 2 L_H$ の条件

では、磁束密度分布の波長 $\lambda_B = L_H$ の周期で規則性を有するようにしても補償関係が成立する。図17Aに示すように、本応用例の磁性体コア206は、座標EEからCCの区間において、第1磁性体1と第2磁性体2と第3磁性体3とを配置して、波長 $\lambda_B = L_H$ となるようなパターンを形成し、これを繰り返し積層して形成されている。

[0072] [応用例17]

応用例16と同様に、本応用例の磁性体コア207は、座標EEからCCの区間において、第1磁性体1と第2磁性体2と第3磁性体3を配置して、波長 $\lambda_B = L_H$ となるようなパターンを形成し、これを繰り返し積層して形成されている。本応用例では、第1磁性体1を他の層よりも厚く形成している。

[0073] [応用例18]

本応用例の磁性体コア208は、座標EEからCCの区間において、4種の磁性体（第1磁性体1、第2磁性体2、第3磁性体3、第4磁性体4）を配置して、波長 $\lambda_B = L_H$ となるようなパターンを形成し、これを繰り返し積層して形成されている。

[0074] このように、本実施例の電流センサの磁性体コア200から208によれば、実施例1と同様に、電流センサの製品間（動作間）バラツキを抑え、より高精度な電流センサを実現することができ、それぞれの材質がもつデメリットを補い、それぞれの物質がもつメリットを享受することができる。

実施例 3

[0075] 以下、図18を参照して、実施例2を変形した実施例3の電流センサの磁性体コアに採用可能な応用例19から応用例24について説明する。図18は実施例3の電流センサに採用可能な応用例を示す模式図である。図18Aから図18Fはそれぞれ応用例19から24の磁性体コア300から305の構成を示す模式図である。

[0076] 図18に示すように、実施例2で設定していたセンシング部存在領域である座標EEからCCの区間を、磁性体コア全体が含まれる領域に拡張するこ

とも可能である。このようにすることで、センシング部存在領域が不明であったとしても、 $S \geq 2 L_H$ の条件の下、磁性体コア全体を磁束密度分布の波長 $\lambda_B = L_H / m$ （ただし、 m は1以上の整数）の周期で規則性を有するように形成すれば、図11で述べたように補償関係が成立する。従って、本実施例では、図中コア左端部からコア右端部の領域を座標EEからCCと設定し、実施例2の応用例13から18を変形して応用例19から応用例24とした。

[0077] このように、本実施例の電流センサの磁性体コア300から305によれば、実施例1、2と同じ効果に加え、センシング部存在領域が不明であったとしても、 $S \geq 2 L_H$ の条件の下、補償関係が成立するため、電流センサの製品間（動作間）バラツキを抑えることができる。

[0078] <磁性体>

実施例1から3において第1磁性体1から第4磁性体4として磁性体の種類を複数示したが、これらの磁性体は具体的には、上述した軟磁性材料である例えば鉄、ケイ素鋼、パーマロイ、センダスト、パーメンジュール、ソフトフェライト（フェライトシート）、アモルファス磁性合金（アモルファスリボン）、ナノクリスタル磁性合金、電磁鋼（無方向性鋼板、方向性鋼板）などのいずれであってもよい。磁性体を2種類として構成する場合に好適な組み合わせは、電磁鋼板と周波数特性の良い材料、フェライトと方向性電磁鋼板、アモルファス磁性合金と方向性電磁鋼板、アモルファス磁性合金とフェライトなどである。

[0079] <非磁性体>

実施例1から3において非磁性体9として示したが、非磁性体とは具体的には、反磁性体や常磁性体を意味する。

[0080] < $\lambda_B \neq L_H / m$ ($L_H \neq \lambda_B \times m$) の場合>

以下、図19を参照して、波長 $\lambda_B = L_H / m$ ($L_H = \lambda_B \times m$) とならない場合について検討する。図19はセンシング部積層方向長さ L_H が波長 λ_B の整数倍にならない場合の磁束総数の変化について模式的に示す図である。

[0081] $L_H \neq \lambda_B \times m$ であるケースについて、ホールICセンシング部11の余分長さを ΔL として、 $L_H = \lambda_B \times m + \Delta L$ を満たすものと仮定する。図19は、2種類の磁性体（第1磁性体1、第3磁性体3）を交互に積層して周期的分布を形成した例である。第1磁性体1の層厚を L_1 とし、第3磁性体3の層厚を L_3 とする。この例では、 $L_1 > L_3$ であるものとする。前述の波長 $\lambda_B = L_1 + L_3$ となる。また、第1磁性体1の透磁率を μ_1 とし、第3磁性体3の透磁率を μ_3 とする。この例では、 $\mu_1 > \mu_3$ であるものとする。このとき、余分長さ ΔL が薄いほうの層厚である L_3 より薄い場合（A： $\Delta L < L_3$ ）、余分長さ ΔL が薄いほうの層厚である L_3 と等しくなる場合（B： $\Delta L = L_3$ ）、余分長さ ΔL が薄いほうの層厚である L_3 より厚く、厚いほうの層厚である L_1 よりも薄くなる場合（C： $L_3 < \Delta L < L_1$ ）、余分長さ ΔL が厚いほうの層厚である L_1 と等しくなる場合（D： $\Delta L = L_1$ ）、余分長さ ΔL が厚いほうの層厚である L_1 より厚い場合（E： $L_1 < \Delta L$ ）に場合分けして考える。

[0082] <A： $\Delta L < L_3$ >

この場合、 ΔL が第1磁性体1の層1つ分が存在する座標区間内に内包される場合と、 ΔL が第3磁性体3の層1つ分が存在する座標区間内に内包される場合との間で、ホールICセンシング部11の磁束総数の変化 $\Delta \Phi$ が最も大きくなる。この場合の $\Delta \Phi$ の計算式は、磁場の強さを H とし、ホールICセンシング部11の積層方向と直交しコアの周方向と直交する方向の長さを W_H として、 $\Delta \Phi = \Delta L \times W_H \times (\mu_1 - \mu_3) \times H$ となる。

[0083] <B： $\Delta L = L_3$ >

この場合、Aのパターンと同様に、 ΔL が第1磁性体1の層1つ分が存在する座標区間内に内包される場合と、 ΔL が第3磁性体3の層1つ分が存在する座標区間内に内包される場合との間で、ホールICセンシング部11の磁束総数の変化 $\Delta \Phi$ が最も大きくなる。しかしながらBのパターンでは、 $\Delta L = L_3$ であるため、 $\Delta \Phi$ の計算式は、 $\Delta \Phi = L_3 \times W_H \times (\mu_1 - \mu_3) \times H$ となり、Aのパターンよりも $\Delta \Phi$ が大きくなる。

[0084] <C： $L_3 < \Delta L < L_1$ >

この場合、 ΔL が第1磁性体1の層1つ分が存在する座標区間内に内包される場合と、 ΔL が第3磁性体3の層1つ分が存在する座標区間（長さ L_3 ）を全て含む場合との間で、ホールICセンシング部11の磁束総数の変化 $\Delta\Phi$ が最も大きくなる。 $\Delta\Phi$ の計算式はBのパターンと同じで、 $\Delta\Phi = L_3 \times W_H \times (\mu_1 - \mu_3) \times H$ となり、Aのパターンよりも $\Delta\Phi$ が大きくなる。

[0085] <D : $\Delta L = L_1$ >

この場合、Cのパターンと同様に、 ΔL が第1磁性体1の層1つ分が存在する座標区間内に内包される場合と、 ΔL が第3磁性体3の層1つ分が存在する座標区間（長さ L_3 ）を全て含む場合との間で、ホールICセンシング部11の磁束総数の変化 $\Delta\Phi$ が最も大きくなる。 $\Delta\Phi$ の計算式はB、Cのパターンと同じで、 $\Delta\Phi = L_3 \times W_H \times (\mu_1 - \mu_3) \times H$ となり、Aのパターンよりも $\Delta\Phi$ が大きくなる。

[0086] <E : $L_1 < \Delta L$ >

この場合、 ΔL が第1磁性体1の層1つ分が存在する座標区間（長さ L_1 ）を全て含む場合と、 ΔL が第3磁性体3の層1つ分が存在する座標区間（長さ L_3 ）を全て含む場合との間で、ホールICセンシング部11の磁束総数の変化 $\Delta\Phi$ が最も大きくなる。 $\Delta\Phi$ の計算式は、 $\Delta\Phi = (L_1 + L_3 - \Delta L) \times W_H \times (\mu_1 - \mu_3) \times H$ となり、B、C、Dのパターンよりも $\Delta\Phi$ が小さくなる。

[0087] このように考えた場合、 L_H が正確には波長 λ_B の整数倍とはならず、余分長さ ΔL が生じた場合でも、 $\Delta\Phi$ が十分に小さく、 $\Delta\Phi$ によるホール素子の感度ずれが、製品が保証する測定誤差の範囲内に収まる程度であれば問題ない。例えば、電気自動車用の車載用高精度センサの総合誤差は1%程度とされている。従って、ホール素子の位置バラツキによって生じる誤差の許容値を総合誤差の10分の1程度と考えれば、磁束総数 Φ に対する $\Delta\Phi$ の比率が0.1%程度であればよいことになる。ここで、図19の例で考えれば、

[0088]

[数1]

$$\frac{\Delta\Phi}{\Phi} = \frac{L_3 \times W_H \times (\mu_1 - \mu_3) \times H}{m \times L_1 \times W_H \times \mu_1 \times H + m \times L_3 \times W_H \times \mu_3 \times H - L_3 \times W_H \times (\mu_1 - \mu_3) \times H}$$

$$= \frac{L_3 \times (\mu_1 - \mu_3)}{m \times L_1 \times \mu_1 + m \times L_3 \times \mu_3 - L_3 \times (\mu_1 - \mu_3)} \leq 0.001 \dots (1)$$

[0089] を充たすように、材質を選び（ μ_1 、 μ_3 の設定）、各材質の層厚 L_1 、 L_3 を決定すればよい。式（１）から、 $L_3 < L_1$ となればなるほど、 μ_1 と μ_3 が近似すればするほど $\Delta\Phi/\Phi$ が小さくなることが分かる。

[0090] <本発明の磁性体コアの形状および積層方向>

図20を参照して、本発明の磁性体コアの形状および積層方向について説明する。図20は本発明の電流センサが備える磁性体コアの形状および積層方向のバリエーションについて示す斜視図である。図20Aはリング形状、同心環状に積層した磁性体コアの例、図20Bはリング形状、電流導通方向に積層した磁性体コアの例、図20Cは形状を略角形のC字形状とし同心環状に積層した磁性体コアの例をそれぞれ示すものである。図3において、実施例に係る磁性体コア100（101から108、200から208、300から305）の形状が、板を環状に丸めた形状であるものとして説明したが、本発明はこれに限定されない。例えば、図20Cのように、形状を略角形のC字形状としてもよい。また積層方向については上述したように、周方向以外の方向であれば、何れの方向であっても良い。従って、図20Bのように、電流導通方向に積層して磁性体コアを形成してもよい。

[0091] <磁性体コアの製造方法>

引き続き図20を参照して、本発明の磁性体コアの製造方法について説明を加える。図20Aの磁性体コアの場合、複数の材料からなる平板を積層して積層板を形成し、この積層板をパイプ成形してから、パイプの周の一部を切断してギャップを形成することにより製造することができる。この製造工程は容易であるし、切断により形成されるギャップ端面が均一になることから好適な製造工程の一つである。これ以外にも、図20Aの磁性体コアは、複数の材料からなる平板を積層して形成した積層板をC字状に丸め加工して

製造することも可能である。同様の製造方法で、図20Cの磁性体コアも製造可能である。また、図20Bの磁性体コアの場合、複数の材料からなる平板を積層して積層板を形成し、この積層板をリング状に打ち抜いた後、その周の一部を切断してギャップを形成することにより製造することができる。これ以外にも、図20Bの磁性体コアは、複数の異なるリング状シート材料を交互に積層した後、周の一部を切断してギャップを形成してもよい。

符号の説明

- [0092]
- 1 第1磁性体
 - 2 第2磁性体
 - 3 第3磁性体
 - 4 第4磁性体
 - 9 非磁性体
 - 11 ホールIC（素子）センシング部
 - 11a 外縁方向端部
 - 11b 中心方向端部
 - 11c 上方向端部
 - 11d 下方向端部
 - 13 リード線
 - 13c-1 鰐部
 - 15 ホールIC
 - 15a 端部
 - 15b ケース
 - 20 ギャップ
 - 30 中空部
 - 50 ケース
 - 51 収容部
 - 52 ガイドスリーブ
 - 53 ストッパ

5 4 電流導通部

5 5 底面

6 0 蓋

6 1 長円凹部

1 0 0 から 1 0 8、2 0 0 から 2 0 8、3 0 0 から 3 0 5 磁性体コア

請求の範囲

- [請求項1] 周の一部にギャップを有し、環状に形成された磁性体コアと、
前記ギャップに配置され、前記磁性体コアの中空部を通過する被測定電流に応じて変化する磁束を検出する磁電変換素子とを含み、
前記磁性体コアが、
複数の材質を周方向以外の方向に積層して形成され、
前記磁電変換素子のセンシング部が存在しうる領域として予め定めた領域であるセンシング部存在領域内における、積層方向の距離が前記センシング部の積層方向長さだけ離間した2点の磁束密度が近似するように形成された
電流センサ。
- [請求項2] 請求項1に記載の電流センサであって、
前記センシング部存在領域の積層方向長さ S が、前記センシング部の積層方向長さ L_H の2倍よりも小さいものとし、
 m を1以上の整数とし、
前記磁性体コアが、前記センシング部存在領域内の磁束密度の積層方向の分布が長さ $(S - L_H) / m$ の周期で規則性を有するように形成された
電流センサ。
- [請求項3] 請求項1に記載の電流センサであって、
前記センシング部存在領域の積層方向長さ S が、前記センシング部の積層方向長さ L_H の2倍以上であるものとし、
 m を1以上の整数とし、
前記磁性体コアが、前記センシング部存在領域内の磁束密度の積層方向の分布が長さ L_H / m の周期で規則性を有するように形成された
電流センサ。
- [請求項4] 請求項1に記載の電流センサであって、
前記磁性体コアが、

複数の材質を不規則に積層して形成された
電流センサ。

[請求項5] 請求項 1 から 4 の何れかに記載の電流センサであって、
前記磁性体コアが、同心環状に積層して形成された
電流センサ。

[請求項6] 請求項 1 から 4 の何れかに記載の電流センサであって、
前記磁性体コアが、被測定電流の導通方向に積層して形成された
電流センサ。

[請求項7] 請求項 1 から 5 の何れかに記載の電流センサであって、
前記磁性体コアが、複数の異なる材質を積層した平板を環状に丸め、
周の一部を切断して形成された
電流センサ。

[請求項8] 請求項 1 から 7 の何れかに記載の電流センサであって、
前記磁性体コアが、方向性電磁鋼とアモルファス磁性合金を交互に
積層して形成された
電流センサ。

[請求項9] 請求項 1 から 7 の何れかに記載の電流センサであって、
前記磁性体コアが、方向性電磁鋼とフェライトを交互に積層して形
成された
電流センサ。

[図1A]

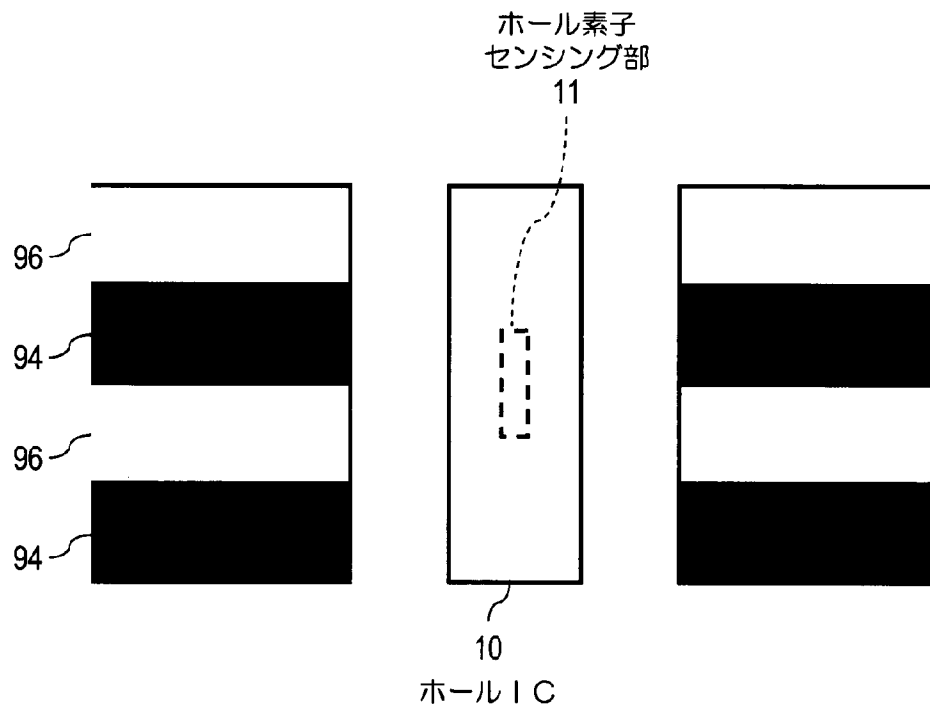


図1A

[図1B]

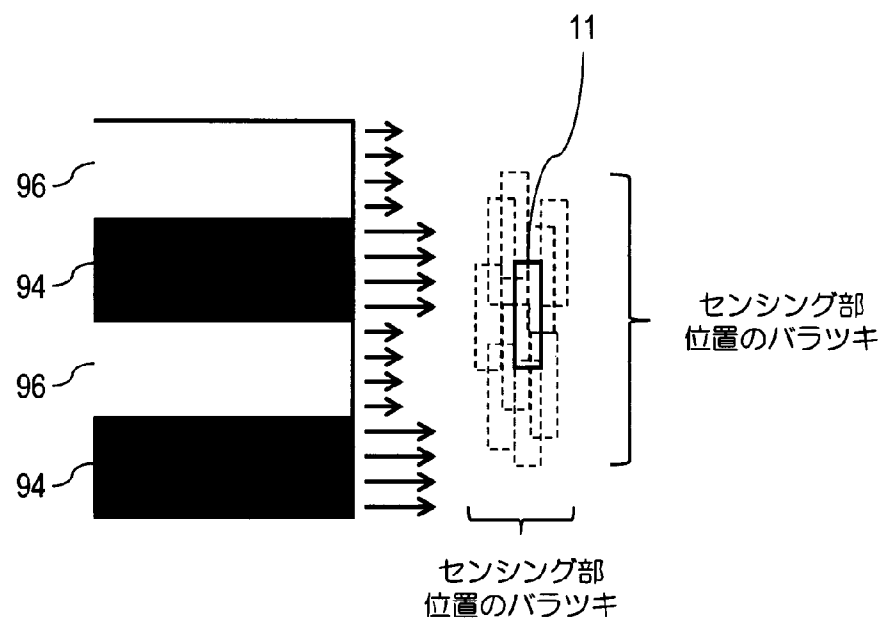
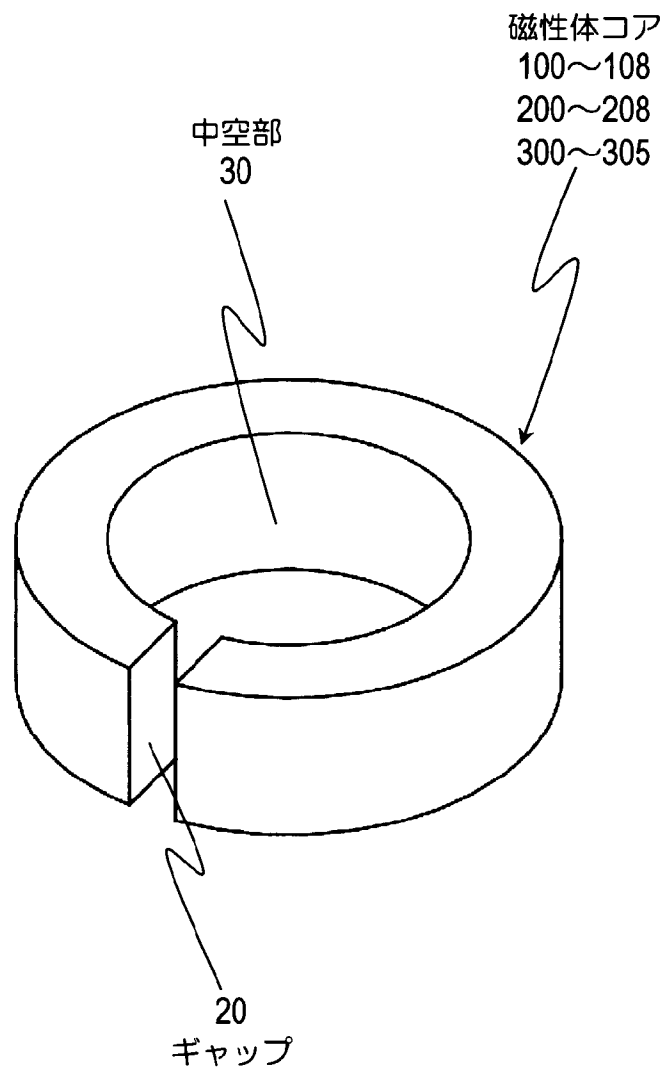


図1B

[図3]



[図4A]

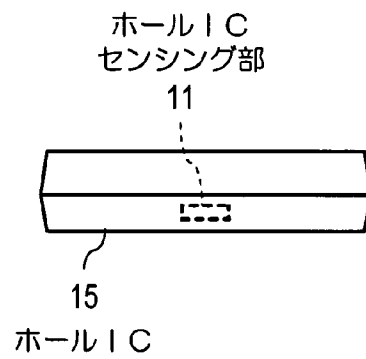


図4A

[図4B]

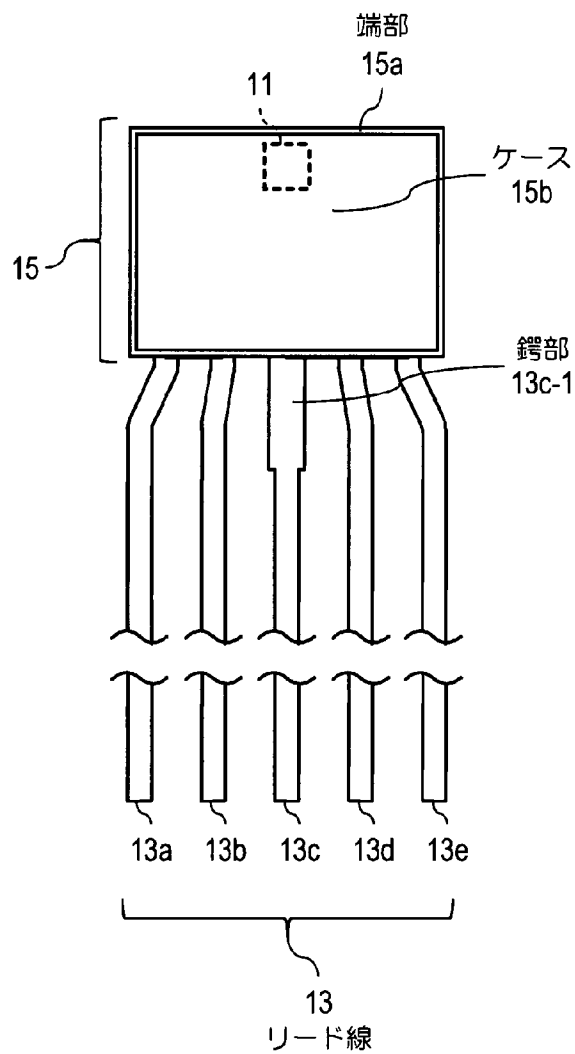


図4B

[図4C]

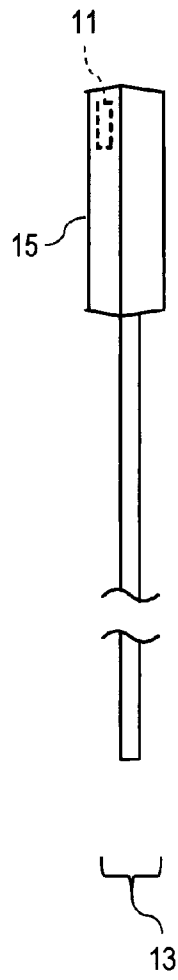


図4C

[図5]

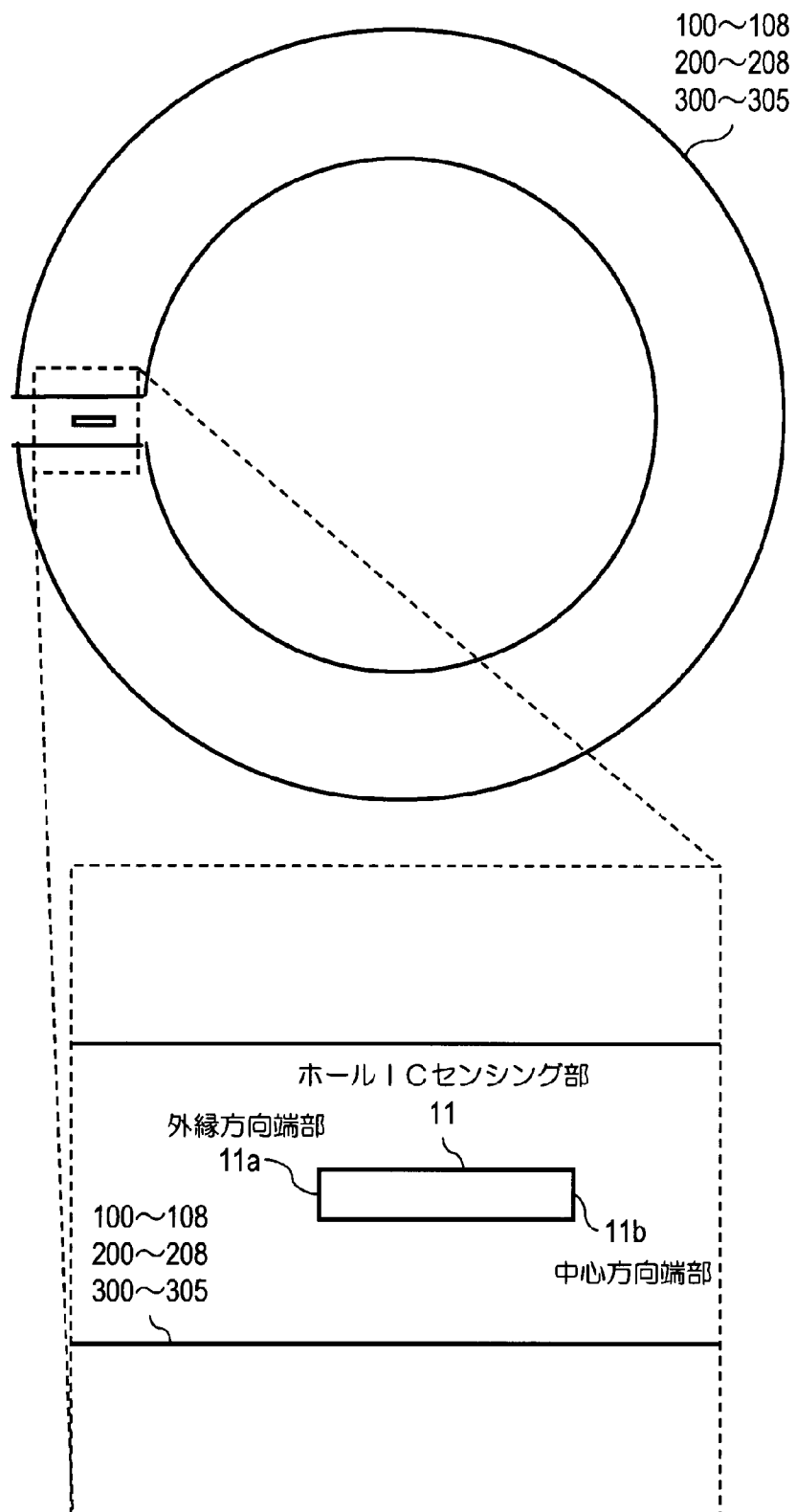
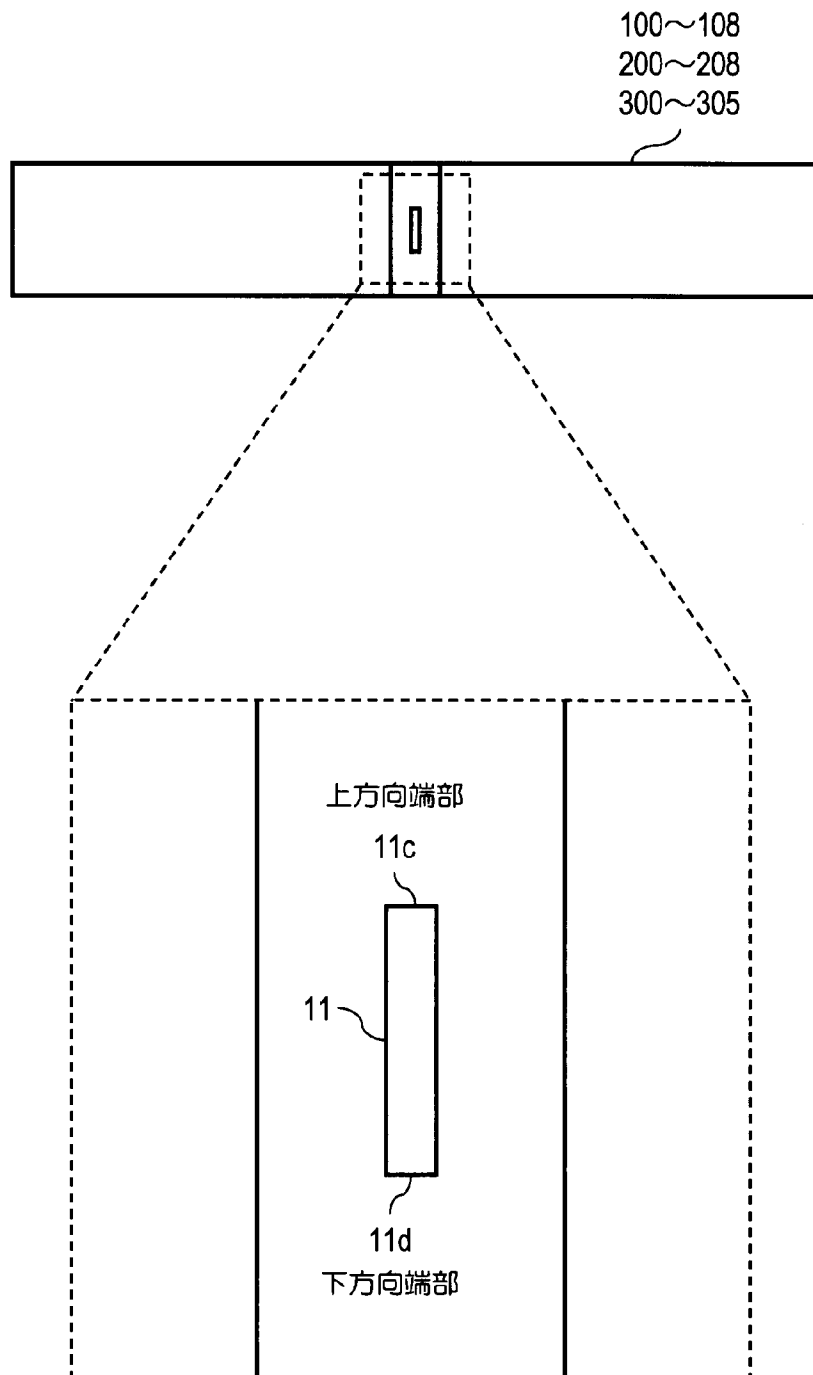


図5

[図6]



[図7]

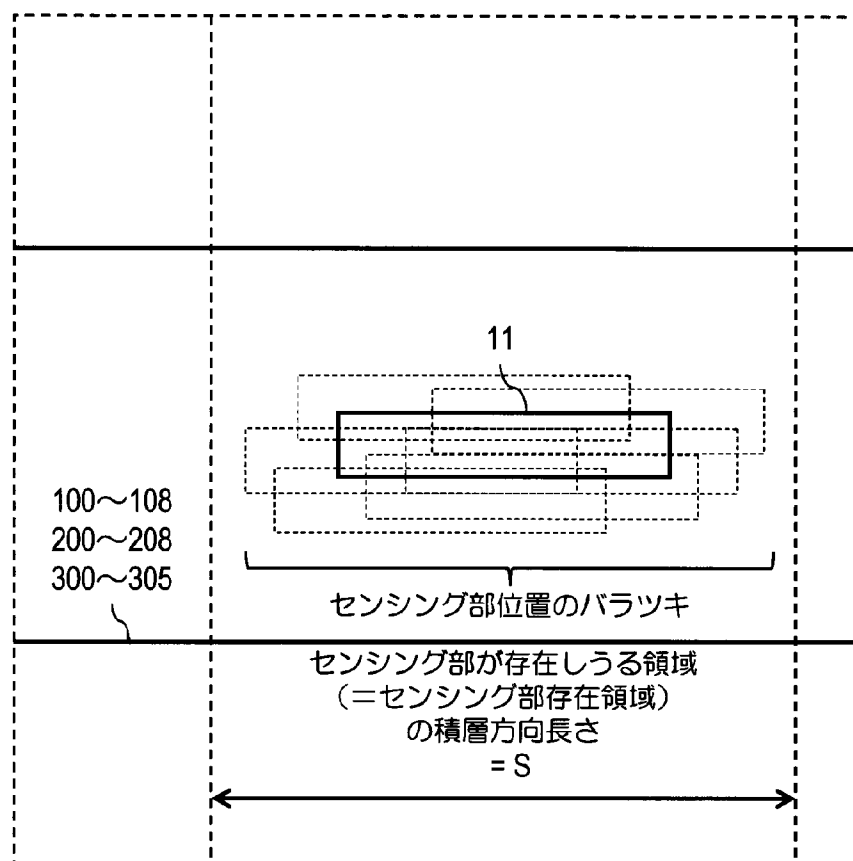


図7

[図8]

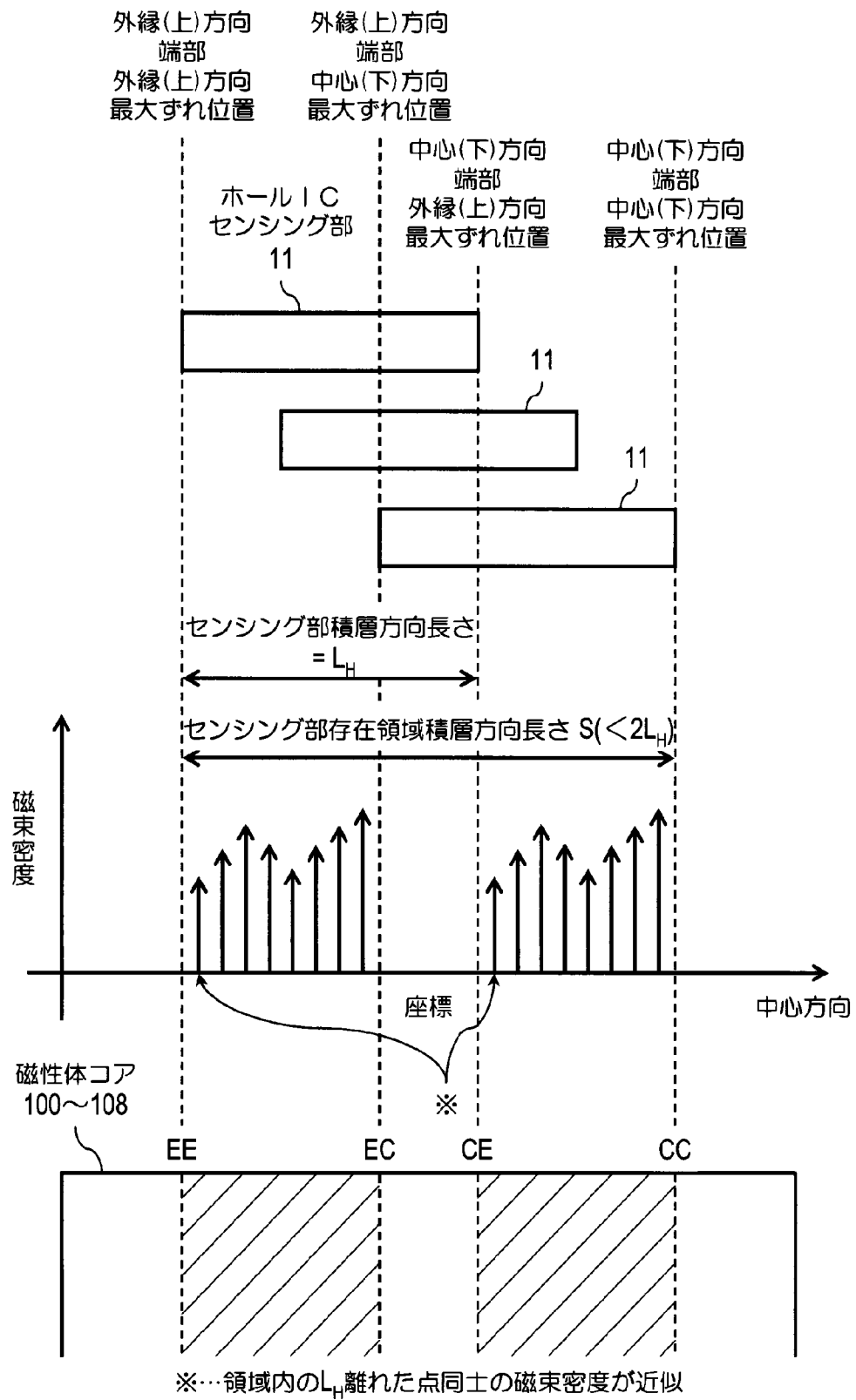


図8

[図9]

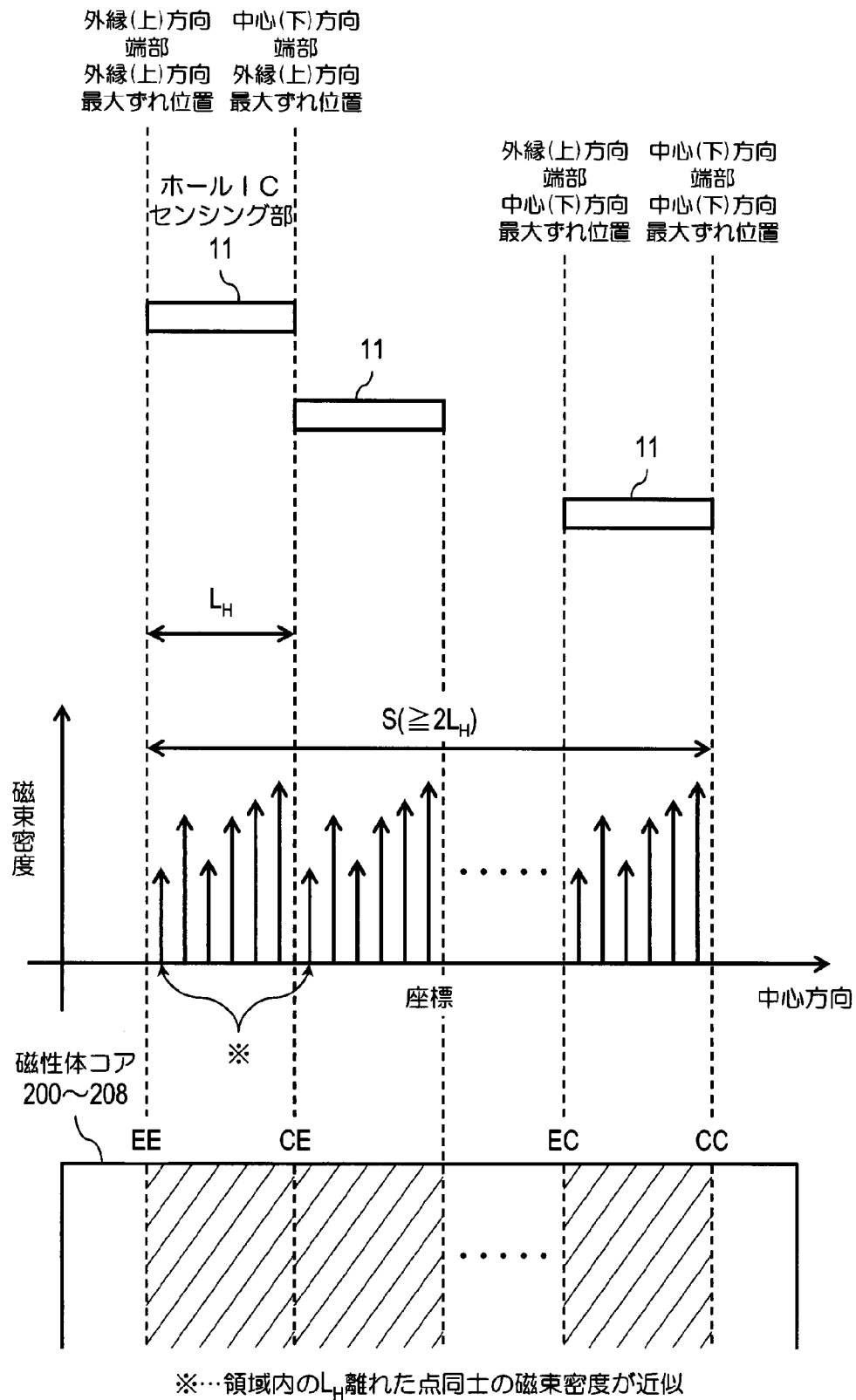


図9

[図10]

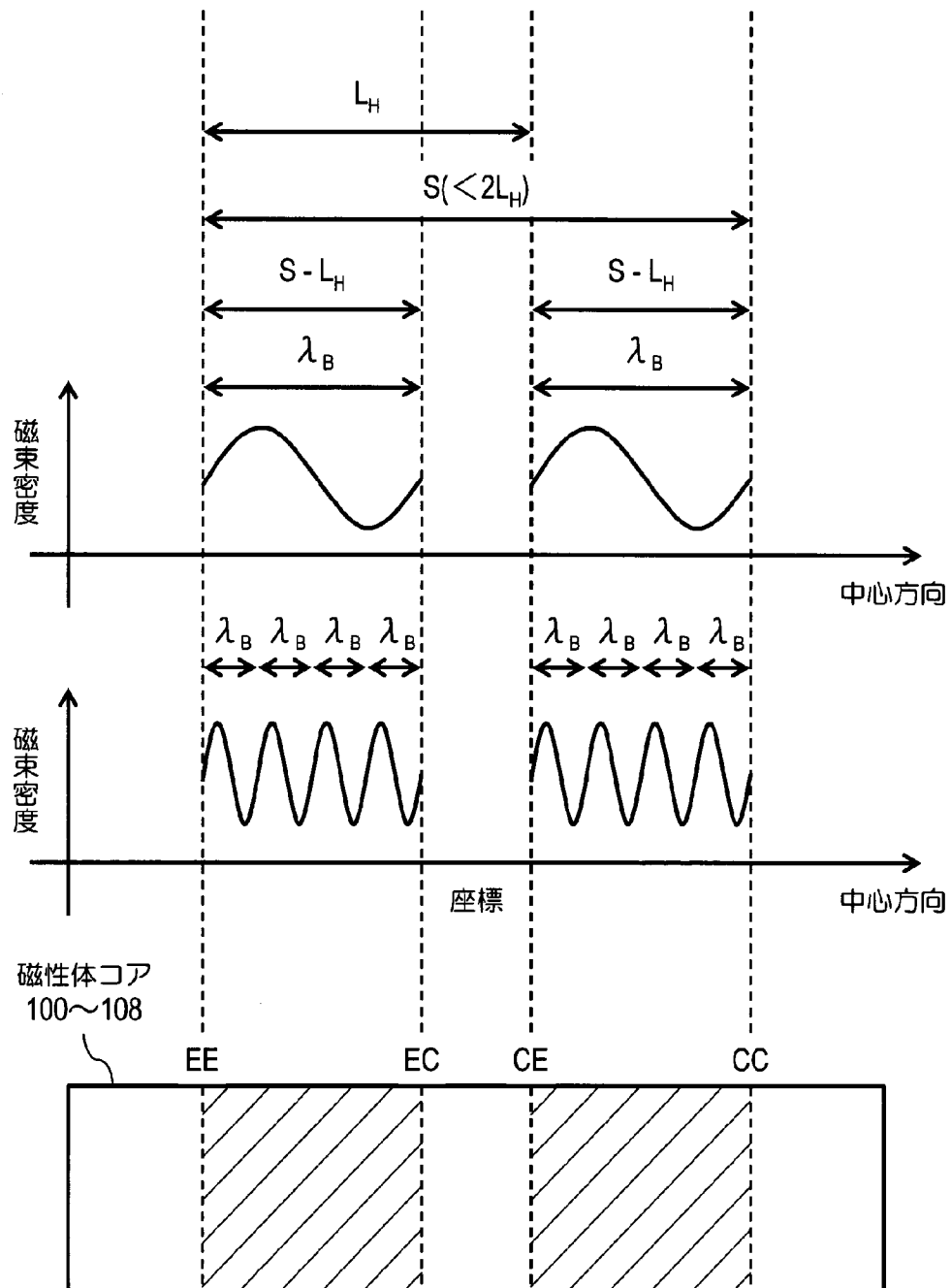


図10

[図11]

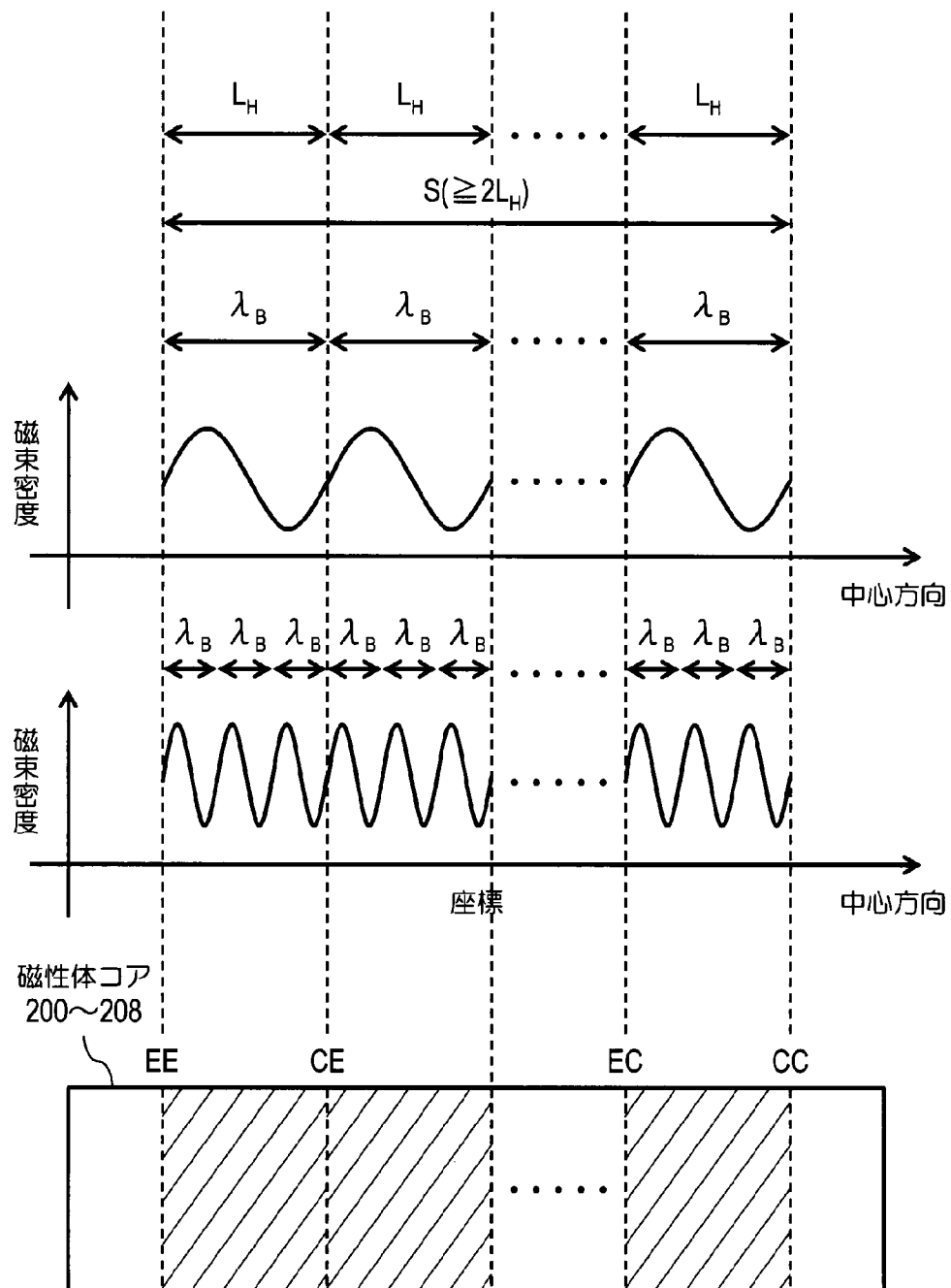


図11

[図12A]

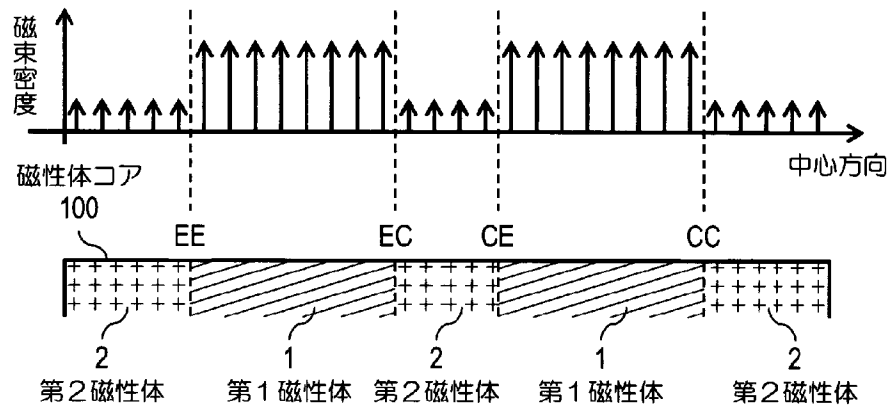


図12A

[図12B]

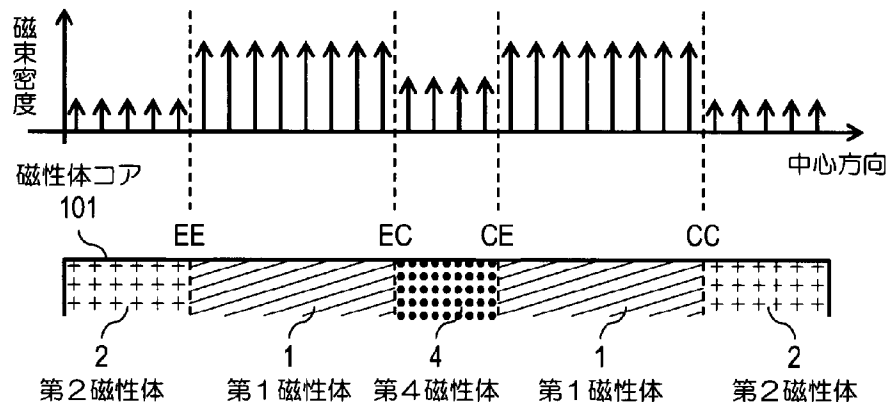


図12B

[図12C]

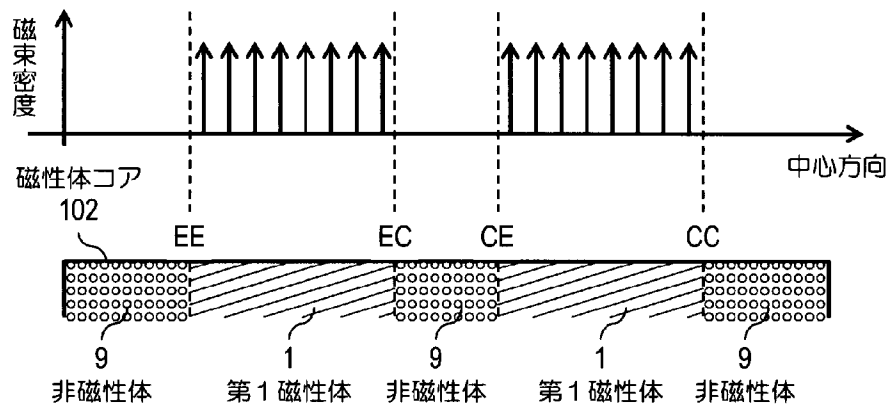


図12C

[図13A]

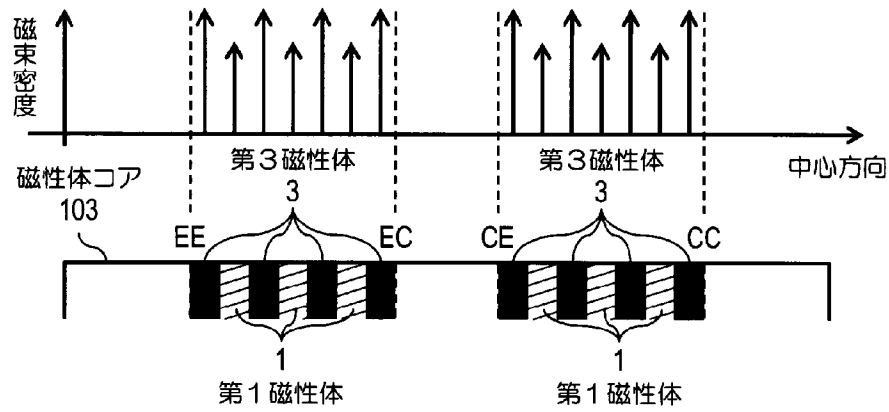


図13A

[図13B]

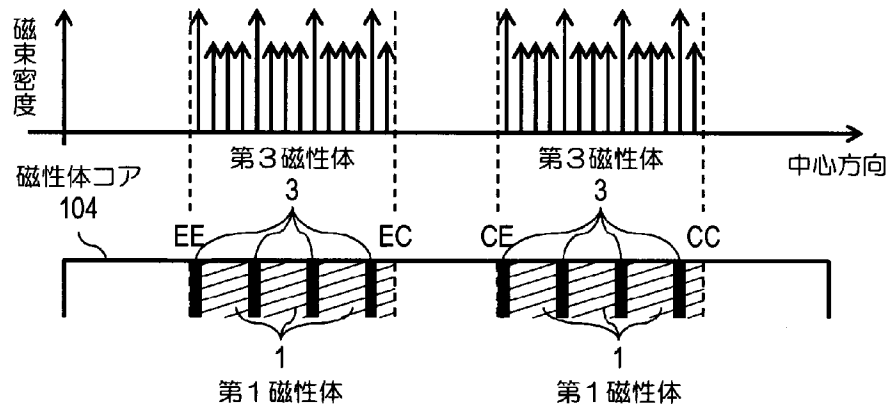


図13B

[図13C]

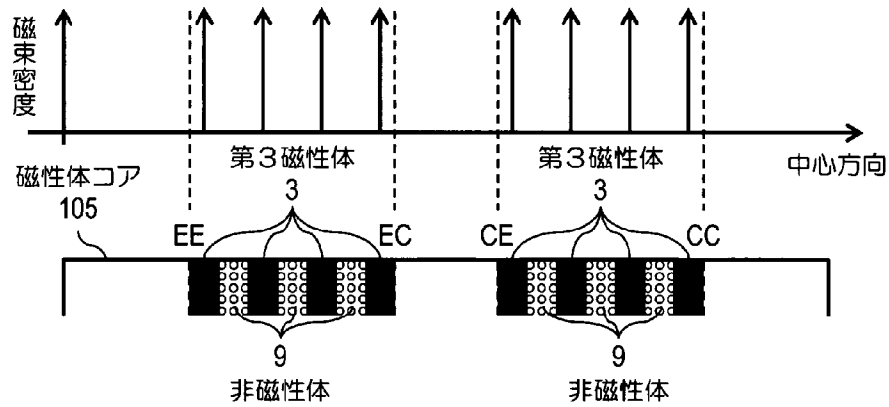


図13C

[図14A]

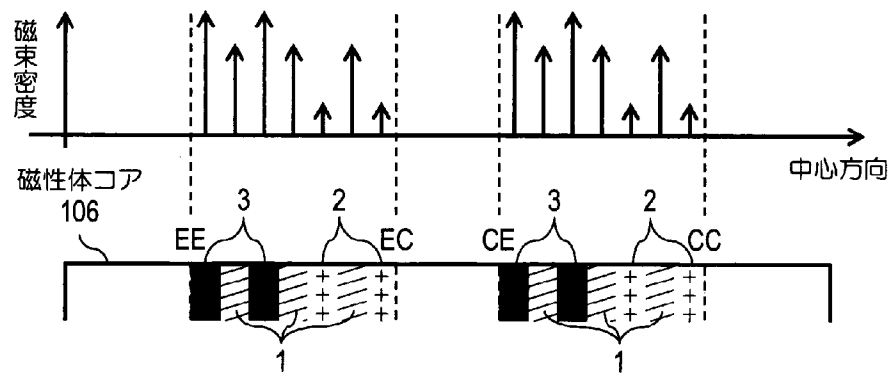


図14A

[図14B]

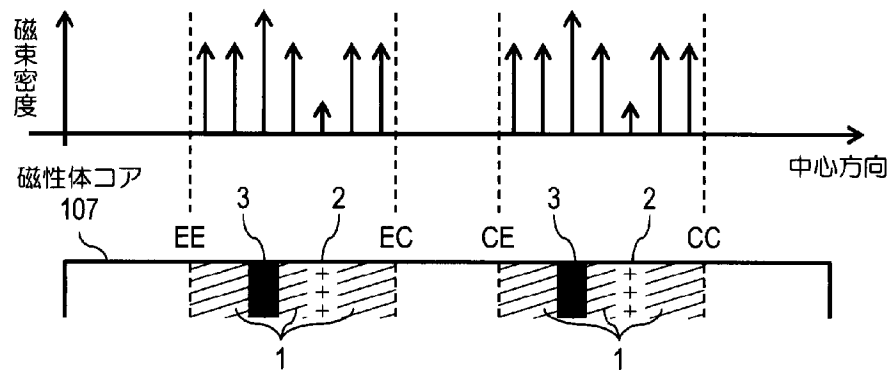


図14B

[図14C]

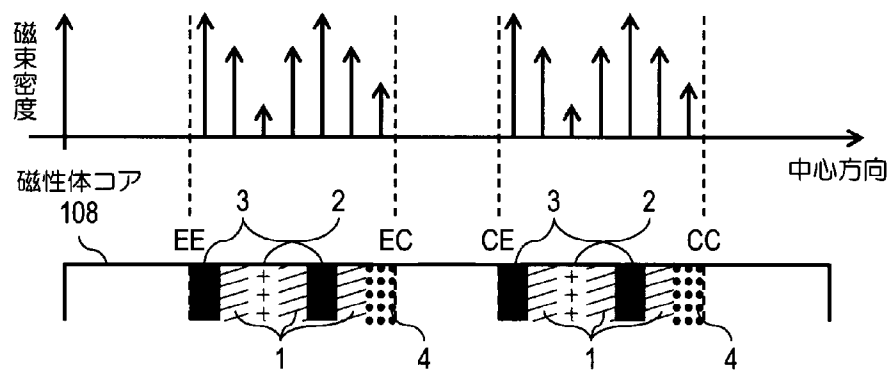


図14C

[図15A]

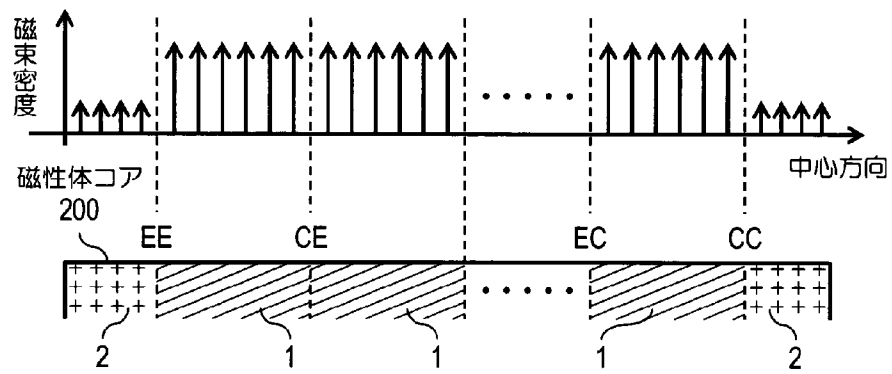


図15A

[図15B]

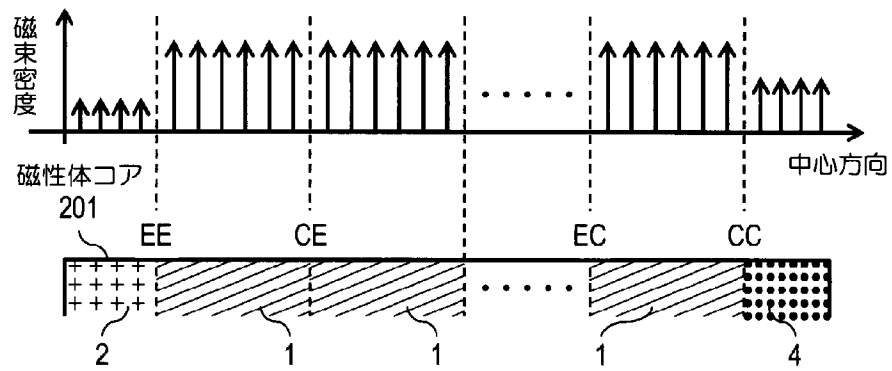


図15B

[図15C]

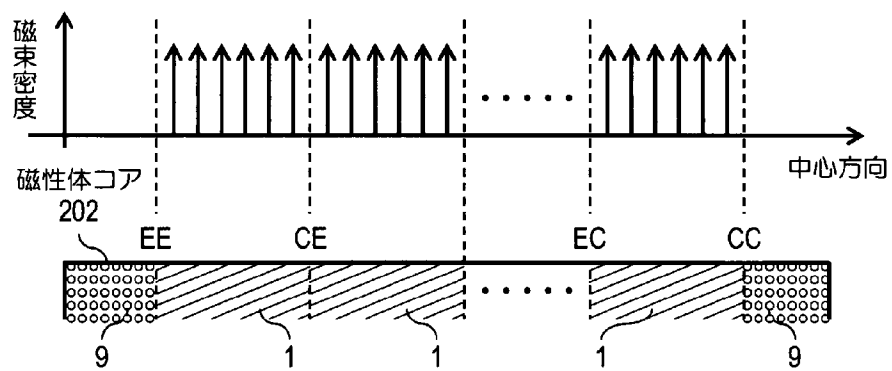


図15C

[図16A]

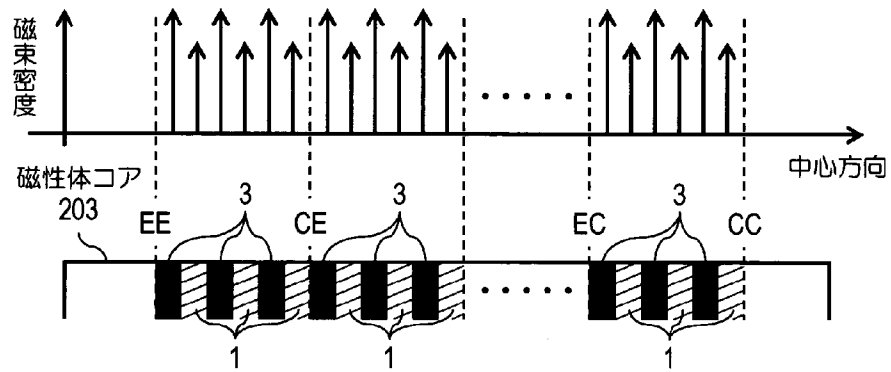


図16A

[図16B]

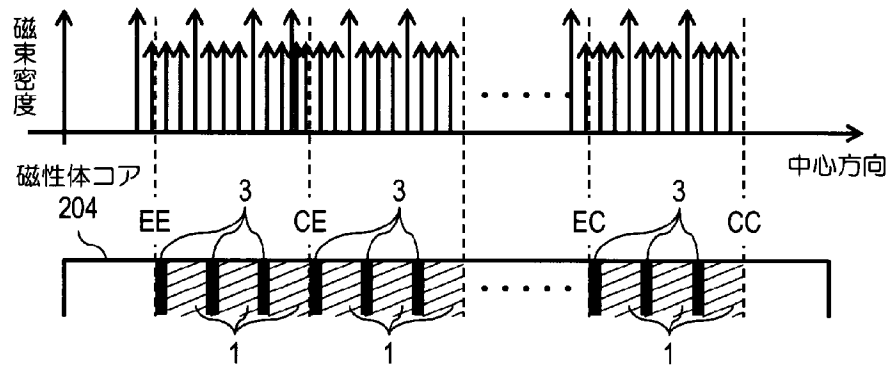


図16B

[図16C]

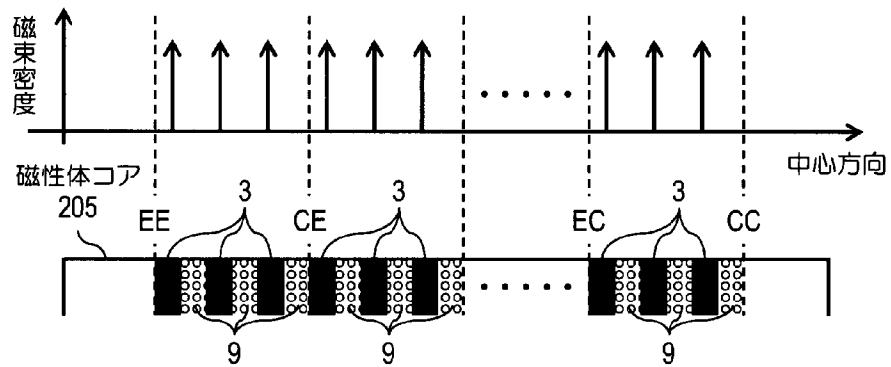


図16C

[図17A]

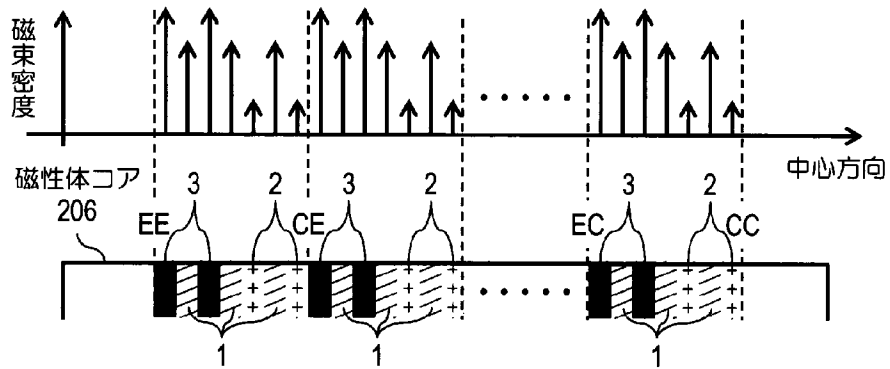


図17A

[図17B]

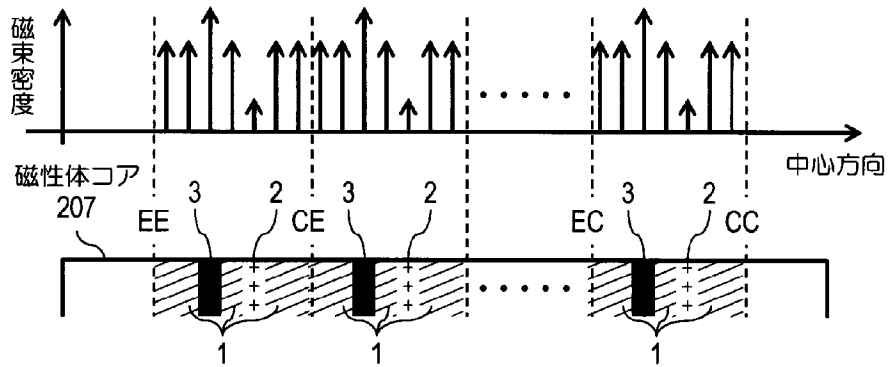


図17B

[図17C]

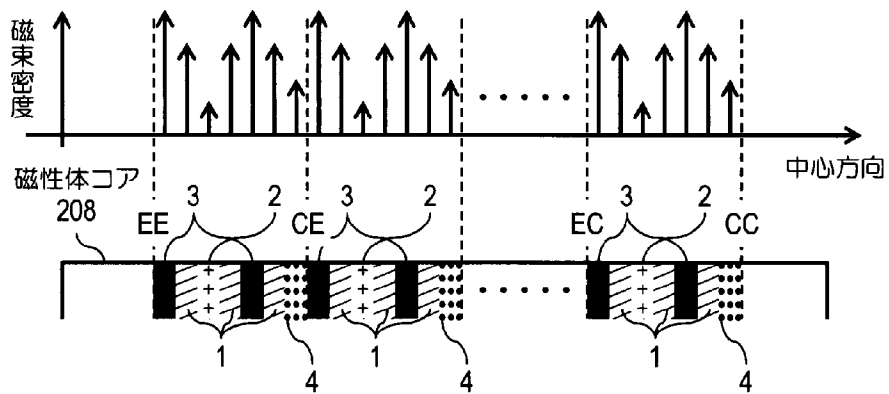


図17C

[図18A]

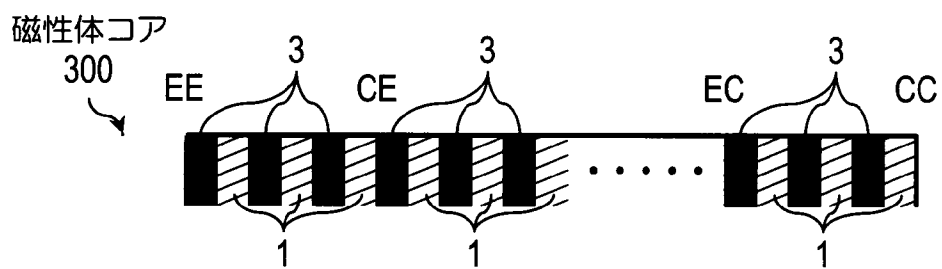


図18A

[図18B]

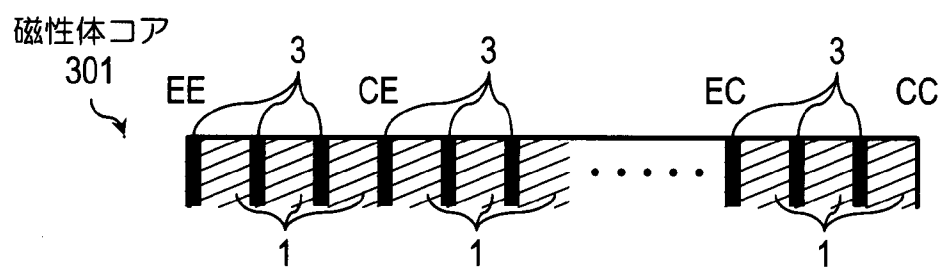


図18B

[図18C]

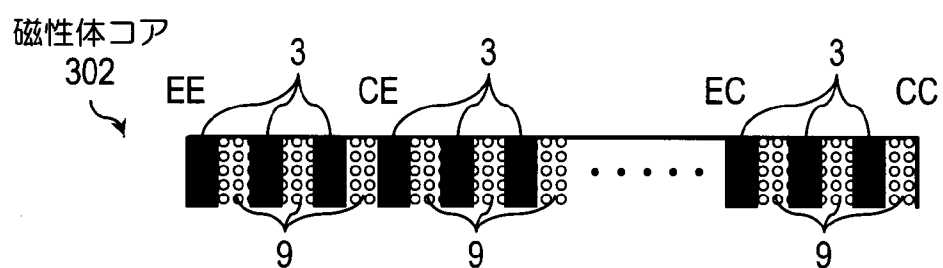


図18C

磁性体コア
303

Diagram illustrating a magnetic core 303, showing a sequence of segments labeled EE, CE, EC, and CC, with sub-labels 1, 2, and 3 indicating different regions or states.

磁性体コア
305

EE CE EC CC

3 2 3 2 3 2

1 4 1 4 1 4

図18F

[図19]

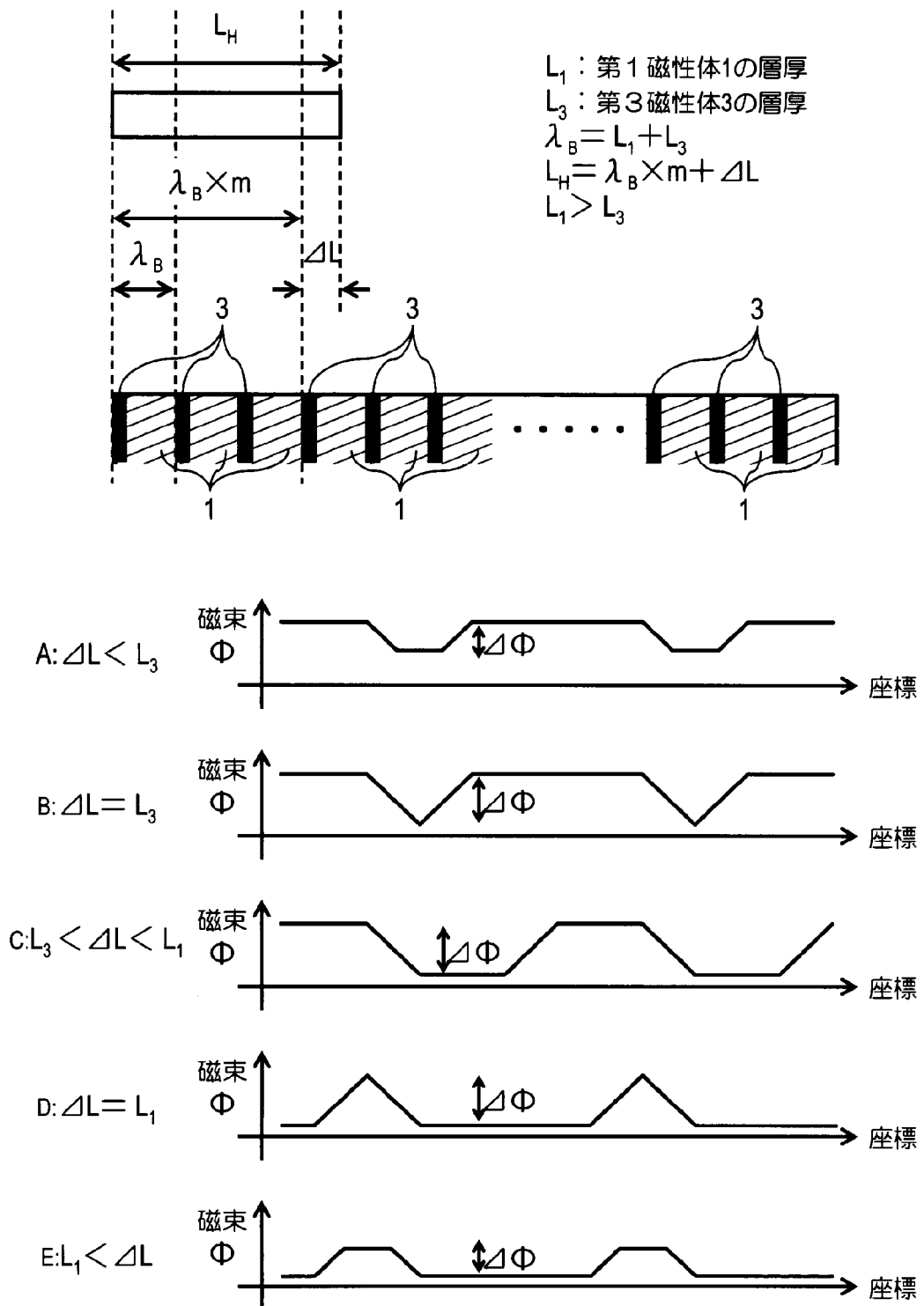


図19

[図20A]

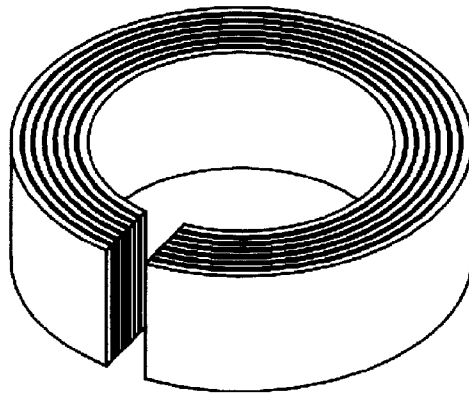


図20A

[図20B]

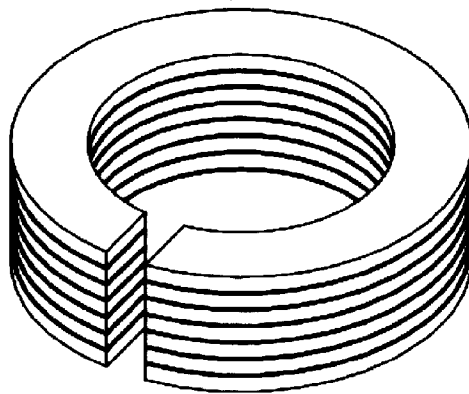


図20B

[図20C]

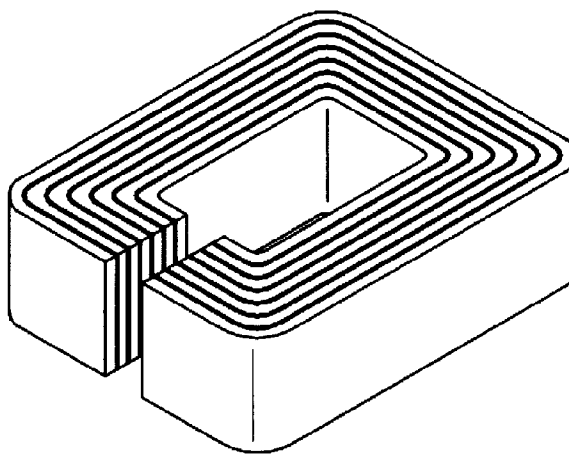


図20C

[図21]

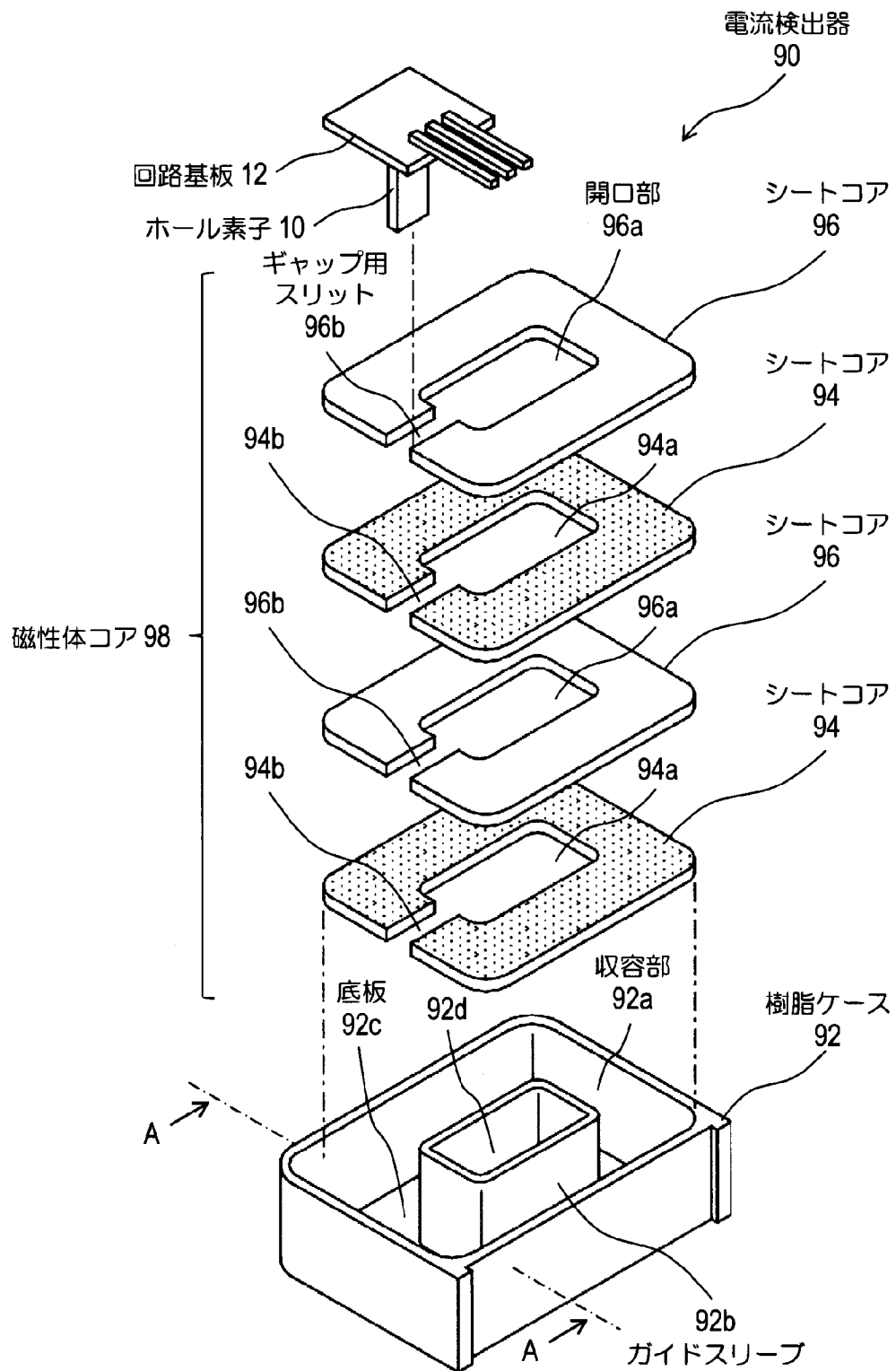


図21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/059609

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R15/20 (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

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.
A	CD-ROM of the specification and drawings annexed to the request of Japanese Utility Model Application No. 57968/1992 (Laid-open No. 18977/1994) (Mitsubishi Electric Corp.), 11 March 1994 (11.03.1994), paragraph [0007]; fig. 1 (Family: none)	1-9
A	JP 5-275255 A (Nippon Steel Corp.), 22 October 1993 (22.10.1993), paragraphs [0007] to [0009] (Family: none)	7-8

☐ 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
26 June, 2013 (26.06.13)Date of mailing of the international search report
09 July, 2013 (09.07.13)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

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

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

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	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2013年
日本国実用新案登録公報	1996-2013年
日本国登録実用新案公報	1994-2013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
A	日本国実用新案登録出願 4-57968 号 (日本国実用新案登録出願公開 6-18977 号) の願書に添付した明細書及び図面の内容を記録した CD-ROM (三菱電機株式会社) 1994.03.11, 【0007】, 【図 1】 (ファミリーなし)	1-9
A	JP 5-275255 A (新日本製鐵株式会社) 1993.10.22, 【0007】 - 【0009】 (ファミリーなし)	7-8

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

26.06.2013

国際調査報告の発送日

09.07.2013

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)

荒井 誠

2 S

5260

電話番号 03-3581-1101 内線 3258