(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2019 126 872 A1** 2020.04.16

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2019 126 872.9**
(22) Anmeldetag: **07.10.2019**
(43) Offenlegungstag: **16.04.2020**

(51) Int Cl.: ***G01R 33/09*** (2006.01)

(30) Unionspriorität:
2018-192240 11.10.2018 JP

(71) Anmelder:
Asahi Kasei Microdevices Corporation, Tokyo, JP; TDK Corporation, Tokyo, JP

(74) Vertreter:
Epping Hermann Fischer Patentanwaltsgesellschaft mbH, 80639 München, DE

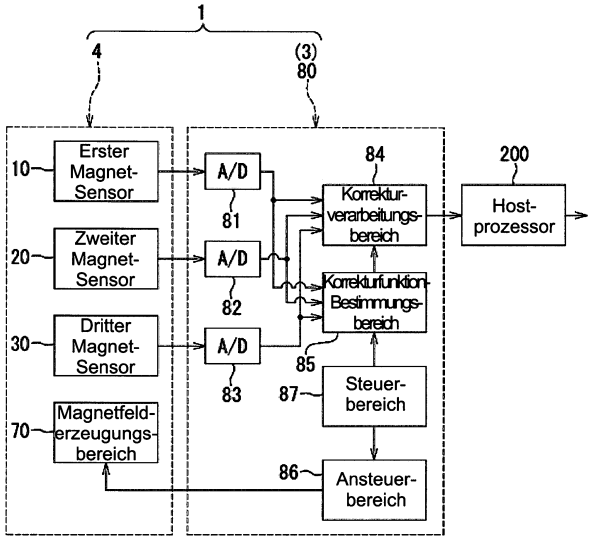
(72) Erfinder:
Watanabe, Kazuya, Tokyo, JP; Okutsu, Yoshitaka, Tokyo, JP; Yoshida, Masanori, Tokyo, JP

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **MAGNETSENSORVORRICHTUNG**

(57) Zusammenfassung: Eine Magnetsensorvorrichtung umfasst drei Magnetsensoren zum Erfassen von Komponenten eines äußeren Magnetfelds, die in drei Richtungen verlaufen, einen Magnetfelderzeugungsbereich und einen Korrekturprozessor. Der Magnetfelderzeugungsbereich erzeugt zusätzliche Magnetfeldkomponenten in drei Richtungen, die für Messungen von Haupt- und Querachsenempfindlichkeiten der drei Magnetsensoren verwendet werden. Der Korrekturprozessor korrigiert jeweilige Erfassungssignale der drei Magnetsensoren auf der Grundlage der Messergebnisse der Haupt- und Querachsenempfindlichkeiten der Magnetsensoren.



Beschreibung

STAND DER TECHNIK

Technisches Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Magnetsensorvorrichtung, die eine Vielzahl von Magnetsensoren zum Erfassen von Komponenten eines äußeren Magnetfelds, die in eine Vielzahl von Richtungen verlaufen, umfasst.

Beschreibung der verwandten Technik

[0002] Magnetsensoren zum Erfassen einer Komponente in einer vorgegebenen Richtung eines äußeren Magnetfelds wurden in jüngster Zeit in einer Vielzahl von Anwendungen verwendet. Im Folgenden wird eine Komponente eines äußeren Magnetfelds als äußere Magnetfeldkomponente bezeichnet. Es ist ein Typ von Magnetsensor bekannt, der mindestens ein magnetisches Erfassungselement umfasst, das auf einem Substrat vorgesehen ist. Ein Beispiel des magnetischen Erfassungselements ist ein magnetoresistives Element.

[0003] Der Magnetsensor zum Erfassen einer äußeren Magnetfeldkomponente in einer vorgegebenen Richtung ist dazu eingerichtet, ein Erfassungssignal zu erzeugen, das der äußeren Magnetfeldkomponente in der vorgegebenen Richtung entspricht. Die vorgegebene Richtung wird im Folgenden als Hauptachsenrichtung bezeichnet. Beispielsweise stimmt die Hauptachsenrichtung mit einer Detektionsrichtung des Magnetsensors überein. Das Verhältnis einer Änderung des Erfassungssignals des Magnetsensors zu einer Änderung der Stärke eines Magnetfelds in der Hauptachsenrichtung wird als Hauptachsenempfindlichkeit des Magnetsensors bezeichnet.

[0004] Die Hauptachsenempfindlichkeit kann aufgrund von individuellen Unterschieden von Magnetsensoren variieren. Bei einer Vorrichtung, die eine Vielzahl von Magnetsensoren zum Erfassen äußerer Magnetfeldkomponenten in einer Vielzahl von Richtungen umfasst, können die jeweiligen Hauptachsenempfindlichkeiten der Magnetsensoren voneinander abweichen. Die Hauptachsenempfindlichkeit kann auch in Abhängigkeit von der Verwendungsumgebung des Magnetsensors variieren. Daher ist eine Vorrichtung, die einen Magnetsensor umfasst, wünschenswert, die die Hauptachsenempfindlichkeit des Magnetsensors messen und das Erfassungssignal des Magnetsensors auf der Grundlage der Messergebnisse nach Bedarf korrigieren kann.

[0005] EP 2131205 A1 offenbart einen Magnetsensor, der ein Halbleitersubstrat umfasst, das mit einer Vielzahl von voneinander beabstandeten magnetosensitiven Elementen versehen ist, und ein magnetisches Material, das auf dem Halbleitersubstrat vorgesehen ist. Die Vielzahl von magnetosensitiven Elementen ist in Randbereichen des magnetischen Materials angeordnet. Der Magnetsensor erfasst Magnetfeldstärken für drei zueinander orthogonale Achsen auf der Grundlage der Ausgaben der Vielzahl von magnetosensitiven Elementen. Bei diesem Magnetsensor weist jedes magnetosensitive Element eine magnetische Empfindlichkeit in der vertikalen Richtung auf. Dieser Magnetsensor umfasst eine ein horizontales Magnetfeld erzeugende Spule für die Empfindlichkeitsmessung und eine Vielzahl von ein vertikales Magnetfeld erzeugenden Spulen für die Empfindlichkeitsmessung. Die ein horizontales Magnetfeld erzeugende Spule erzeugt eine horizontale Magnetfeldkomponente. Die horizontale Magnetfeldkomponente bewirkt, dass in der Nähe des Rands des magnetischen Materials vertikale Magnetfeldkomponenten auftreten, und die Vielzahl von magnetosensitiven Elementen erfassen diese vertikalen Magnetfeldkomponenten, um hierdurch die horizontale Magnetfeldkomponente zu erfassen. Die Vielzahl von ein vertikales Magnetfeld erzeugenden Spulen sind in der Nähe der Vielzahl von magnetosensitiven Elementen vorgesehen und erzeugen vertikale Magnetfeldkomponenten. Die Vielzahl von magnetosensitiven Elementen erfassen jeweils die vertikalen Magnetfeldkomponenten, die von der Vielzahl von ein vertikales Magnetfeld erzeugenden Spulen erzeugt werden.

[0006] Der in EP 2131205 A1 offenbarte Magnetsensor kann Hauptachsenempfindlichkeiten für die drei Achsen messen.

[0007] Bei einer Vorrichtung, die eine Vielzahl von Magnetsensoren zum Erfassen äußerer Magnetfeldkomponenten in einer Vielzahl von Richtungen umfasst, kann sich das Erfassungssignal von jedem Magnetsensor infolge einer Änderung der Stärke eines Magnetfelds in einer von der Hauptachsenrichtung verschiedenen Richtung ändern. Das Verhältnis einer Änderung des Erfassungssignals des Magnetsensors zu einer Änderung der Stärke des Magnetfelds in einer von der Hauptachsenrichtung verschiedenen Richtung wird als Querachsenempfindlichkeit bezeichnet.

[0008] Die Vorrichtung, die eine Vielzahl von Magnetsensoren umfasst, kann somit wünschenswerterweise nicht nur die Hauptachsenempfindlichkeit, sondern auch die Querachsenempfindlichkeiten von jedem Magnetsensor messen und die Erfassungssignale der Vielzahl von Magnetsensoren auf der Grundlage der Messergebnisse nach Bedarf korrigieren.

[0009] JP 2015-075465A beschreibt eine dreidimensionale Magnetfeldmessvorrichtung, die einen magnetischen Körper, erste bis vierte magneti-

sche Erfassungselemente, die nahe dem magnetischen Körper angeordnet sind, eine Signalverarbeitungseinheit, eine Korrekturfaktor-Speichereinheit und eine Magnetfeldkomponenten-Berechnungseinheit umfasst. Auf der Grundlage der Ausgangssignale der ersten bis vierten magnetischen Erfassungselemente erzeugt die Signalverarbeitungseinheit Ausgangssignale, die dreidimensionalen Magnetfeldvektoren entsprechen, die in den magnetischen Körper eingegeben werden. Die Korrekturfaktor-Speichereinheit speichert Korrekturfaktoren zum Korrigieren von Querachsenempfindlichkeitskomponenten, die in den Ausgangssignalen der Signalverarbeitungseinheit enthalten sind. Die Magnetfeldkomponenten-Berechnungseinheit erzeugt anhand der Ausgangssignale der Signalverarbeitungseinheit und der Korrekturfaktoren dreidimensionale Ausgangssignale.

[0010] JP 2015-075465A beschreibt ferner ein Verfahren zum Eingeben von drei linear unabhängigen Magnetfeldvektoren in die dreidimensionale Magnetfeldmessvorrichtung und zum Erzeugen der Korrekturfaktoren mit einer Korrekturfaktor-Erzeugungsvorrichtung auf der Grundlage von Querachsenempfindlichkeiten beinhaltenden Signalen, die von der dreidimensionalen Magnetfeldmessvorrichtung als Reaktion auf die vorgenannte Eingabe erzeugt werden.

[0011] Gemäß dem in JP 2015-075465A beschriebenen Verfahren, müssen zum Messen der Querachsenempfindlichkeiten der dreidimensionalen Magnetfeldmessvorrichtung und zum Erzeugen der Korrekturfaktoren drei linear unabhängige Magnetfeldvektoren in die dreidimensionale Magnetfeldmessvorrichtung von außerhalb der dreidimensionalen Magnetfeldmessvorrichtung eingegeben werden. Allerdings hat dieses Verfahren einen Nachteil, insofern nach dem Versand der dreidimensionalen Magnetfeldmessvorrichtung die Eingabe der drei linear unabhängigen Magnetfeldvektoren in die dreidimensionale Magnetfeldmessvorrichtung von außerhalb der dreidimensionalen Magnetfeldmessvorrichtung je nach der Verwendungsumgebung der dreidimensionalen Magnetfeldmessvorrichtung schwierig sein kann.

KURZDARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0012] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Magnetsensorvorrichtung bereitzustellen, die eine Vielzahl von Magnetsensoren umfasst und imstande ist, ungeachtet der Verwendungsumgebung der Magnetsensorvorrichtung problemlos die Haupt- und Querachsenempfindlichkeiten von jedem Magnetsensor zu messen und ein Erfassungssignal von jedem Magnetsensor auf der Grundlage der Messergebnisse zu korrigieren.

[0013] Eine Magnetsensorvorrichtung gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung umfasst: einen ersten Magnetsensor zum Erzeugen eines ersten Erfassungssignals, das eine Entsprechung zu einer ersten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist, wobei die erste äußere Magnetfeldkomponente eine Komponente eines äußeren Magnetfelds ist und in einer ersten Detektionsrichtung verläuft; einen zweiten Magnetsensor zum Erzeugen eines zweiten Erfassungssignals, das eine Entsprechung zu einer zweiten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist, wobei die zweite äußere Magnetfeldkomponente eine Komponente des äußeren Magnetfelds ist und in einer zweiten Detektionsrichtung verläuft; einen dritten Magnetsensor zum Erzeugen eines dritten Erfassungssignals, das eine Entsprechung zu einer dritten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist, wobei die dritte äußere Magnetfeldkomponente eine Komponente des äußeren Magnetfelds ist und in einer dritten Detektionsrichtung verläuft; einen ersten Magnetfeldgenerator, der ein erstes zusätzliches Magnetfeld erzeugen kann; einen zweiten Magnetfeldgenerator, der ein zweites zusätzliches Magnetfeld erzeugen kann; einen dritten Magnetfeldgenerator, der ein drittes zusätzliches Magnetfeld erzeugen kann; und einen Korrekturprozessor zum Steuern der ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren und zum Korrigieren der ersten bis dritten Erfassungssignale.

[0014] Die ersten bis dritten Magnetsensoren und die ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren sind integriert. Die ersten bis dritten Magnetsensoren sind jeweils dazu eingerichtet, mit Folgendem beaufschlagt zu werden: einer ersten zusätzlichen Magnetfeldkomponente, wenn das erste zusätzliche Magnetfeld vom ersten Magnetfeldgenerator erzeugt wird; einer zweiten zusätzlichen Magnetfeldkomponente, wenn das zweite zusätzliche Magnetfeld vom zweiten Magnetfeldgenerator erzeugt wird; und einer dritten zusätzlichen Magnetfeldkomponente, wenn das dritte zusätzliche Magnetfeld vom dritten Magnetfeldgenerator erzeugt wird. Die erste zusätzliche Magnetfeldkomponente ist eine Komponente des ersten zusätzlichen Magnetfelds und verläuft in einer zu einer ersten Richtung parallelen Richtung. Die zweite zusätzliche Magnetfeldkomponente ist eine Komponente des zweiten zusätzlichen Magnetfelds und verläuft in einer zu einer zweiten Richtung parallelen Richtung. Die dritte zusätzliche Magnetfeldkomponente ist eine Komponente des dritten zusätzlichen Magnetfelds und verläuft in einer zu einer dritten Richtung parallelen Richtung.

[0015] Der Korrekturprozessor führt eine Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung zum Bestimmen von Korrekturfunktionen für die Korrektur der ersten bis dritten Erfassungssignale und eine Korrekturverarbeitung zum Korrigieren der ersten bis dritten Erfassungssignale unter Verwendung der ersten bis dritten Erfassungssignale und der Korrekturfunktionen aus. Die Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung ist eine Verarbeitung, um Folgendes zu er-

halten: erste bis dritte Daten, die jeweilige Änderungen der ersten bis dritten Erfassungssignale betreffen, wenn der erste Magnetfeldgenerator gesteuert wird, um das erste zusätzliche Magnetfeld zu ändern; vierte bis sechste Daten, die jeweilige Änderungen der ersten bis dritten Erfassungssignale betreffen, wenn der zweite Magnetfeldgenerator gesteuert wird, um das zweite zusätzliche Magnetfeld zu ändern; und siebte bis neunte Daten, die jeweilige Änderungen der ersten bis dritten Erfassungssignale betreffen, wenn der dritte Magnetfeldgenerator gesteuert wird, um das dritte zusätzliche Magnetfeld zu ändern, und um die Korrekturfunktionen auf der Grundlage der ersten bis neunten Daten zu bestimmen.

[0016] Bei der Magnetsensorvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung können die ersten bis dritten Richtungen zueinander orthogonal sein.

[0017] Bei der Magnetsensorvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung kann der Korrekturprozessor mit den ersten bis dritten Magnetsensoren und den ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren integriert sein.

[0018] Eine Magnetsensorvorrichtung gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung umfasst: einen ersten Magnetsensor zum Erzeugen eines ersten Erfassungssignals, das eine Entsprechung zu einer ersten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist, wobei die erste äußere Magnetfeldkomponente eine Komponente eines äußeren Magnetfelds ist und in einer ersten Detektionsrichtung verläuft; einen zweiten Magnetsensor zum Erzeugen eines zweiten Erfassungssignals, das eine Entsprechung zu einer zweiten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist, wobei die zweite äußere Magnetfeldkomponente eine Komponente des äußeren Magnetfelds ist und in einer zweiten Detektionsrichtung verläuft; einen ersten Magnetfeldgenerator, der ein erstes zusätzliches Magnetfeld erzeugen kann; einen zweiten Magnetfeldgenerator, der ein zweites zusätzliches Magnetfeld erzeugen kann; und einen Korrekturprozessor zum Steuern des ersten und des zweiten Magnetfeldgenerators und zum Korrigieren des ersten und des zweiten Erfassungssignals.

[0019] Der erste und der zweite Magnetsensor und der erste und der zweite Magnetfeldgenerator sind integriert. Der erste und der zweite Magnetsensor sind jeweils dazu eingerichtet, mit Folgendem beaufschlagt zu werden: einer ersten zusätzlichen Magnetfeldkomponente, wenn das erste zusätzliche Magnetfeld vom ersten Magnetfeldgenerator erzeugt wird; und einer zweiten zusätzlichen Magnetfeldkomponente, wenn das zweite zusätzliche Magnetfeld vom zweiten Magnetfeldgenerator erzeugt wird. Die erste zusätzliche Magnetfeldkomponente ist eine Komponente des ersten zusätzlichen Magnetfelds und verläuft in einer zu einer ersten Richtung parallelen Richtung. Die zweite zusätzliche Magnetfeldkomponente ist eine Komponente des zweiten zusätzlichen Magnetfelds und verläuft in einer zu einer zweiten Richtung parallelen Richtung.

[0020] Der Korrekturprozessor führt eine Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung zum Bestimmen von Korrekturfunktionen für die Korrektur des ersten und des zweiten Erfassungssignals und eine Korrekturverarbeitung zum Korrigieren des ersten und des zweiten Erfassungssignals unter Verwendung des ersten und des zweiten Erfassungssignals und der Korrekturfunktionen aus. Die Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung ist eine Verarbeitung, um Folgendes zu erhalten: erste und zweite Daten, die jeweilige Änderungen des ersten und des zweiten Erfassungssignals betreffen, wenn der erste Magnetfeldgenerator gesteuert wird, um das erste zusätzliche Magnetfeld zu ändern; und dritte und vierte Daten, die jeweilige Änderungen des ersten und des zweiten Erfassungssignals betreffen, wenn der zweite Magnetfeldgenerator gesteuert wird, um das zweite zusätzliche Magnetfeld zu ändern, und um die Korrekturfunktionen auf der Grundlage der ersten bis vierten Daten zu bestimmen.

[0021] Bei der Magnetsensorvorrichtung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung können die erste und die zweite Richtung zueinander orthogonal sein.

[0022] Bei der Magnetsensorvorrichtung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung kann der Korrekturprozessor mit dem ersten und dem zweiten Magnetsensor und dem ersten und dem zweiten Magnetfeldgenerator integriert sein.

[0023] Bei der Magnetsensorvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung sind die ersten bis dritten Magnetsensoren und die ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren integriert. Aufgrund dessen können mit der Magnetsensorvorrichtung gemäß dem ersten Aspekt der Erfindung Messungen der Haupt- und Querachsenempfindlichkeiten der ersten bis dritten Magnetsensoren durchgeführt und die ersten bis dritten Erfassungssignale auf der Grundlage der Messergebnisse ungeachtet der Verwendungsumgebung der Magnetsensorvorrichtung in einfacher Weise korrigiert werden.

[0024] Bei der Magnetsensorvorrichtung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung sind der erste und der zweite Magnetsensor und der erste und der zweite Magnetfeldgenerator integriert. Aufgrund dessen können mit der Magnetsensorvorrichtung gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung Messungen der Haupt- und Querachsenempfindlichkeiten des ersten und des zweiten Magnetsensors durchgeführt und das erste und das zweite Erfassungssignal auf der Grundlage der Messergebnisse ungeachtet der Ver-

wendungsumgebung der Magnetsensorvorrichtung in einfacher Weise korrigiert werden.

[0025] Andere und weitere Aufgaben, Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung ergeben sich vollständiger aus der folgenden Beschreibung.

Figurenliste

Fig. 1 ist eine perspektivische Ansicht einer Magnetsensorvorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 2 ist ein Funktionsblockschaltbild, das eine Ausgestaltung der Magnetsensorvorrichtung gemäß der ersten Ausführungsform der Erfindung veranschaulicht.

Fig. 3 ist eine Draufsicht eines Sensorchips der ersten Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 4 ist eine erläuternde Darstellung, die eine Ausgestaltung des Sensorchips der ersten Ausführungsform der Erfindung veranschaulicht.

Fig. 5 ist ein Schaltbild, das eine beispielhafte Schaltungsanordnung des Sensorchips der ersten Ausführungsform der Erfindung veranschaulicht.

Fig. 6 ist eine perspektivische Ansicht, die ein magnetoresistives Element der ersten Ausführungsform der Erfindung darstellt.

Fig. 7 ist eine perspektivische Ansicht, die einen Teil eines Widerstandsbereichs der ersten Ausführungsform der Erfindung darstellt.

Fig. 8 ist eine erläuternde Darstellung, die eine Ausgestaltung eines Magnetfeldumwandlungsbereichs und eines dritten Magnetsensors der ersten Ausführungsform der Erfindung veranschaulicht.

Fig. 9 ist eine Querschnittsansicht des Sensorchips der ersten Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 10 ist eine Querschnittsansicht, die einen Teil von jedem der ersten bis dritten Magnetsensoren und eine weichmagnetische Struktur der ersten Ausführungsform der Erfindung veranschaulicht.

Fig. 11 ist eine erläuternde Darstellung, die einen ersten Magnetfeldgenerator der ersten Ausführungsform der Erfindung schematisch veranschaulicht.

Fig. 12 ist eine erläuternde Darstellung, die einen zweiten Magnetfeldgenerator der ersten Ausführungsform der Erfindung schematisch veranschaulicht.

Fig. 13 ist eine erläuternde Darstellung, die einen dritten Magnetfeldgenerator der ersten Ausführungsform der Erfindung schematisch veranschaulicht.

Fig. 14 ist ein Flussdiagramm einer Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung der ersten Ausführungsform der Erfindung.

Fig. 15 ist ein Funktionsblockschaltbild, das ein Ausgestaltungsbeispiel eines in **Fig. 2** dargestellten Hostprozessors darstellt.

Fig. 16 ist ein Funktionsblockschaltbild, das eine Ausgestaltung einer Magnetsensorvorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung veranschaulicht.

Fig. 17 ist ein Flussdiagramm einer Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung der zweiten Ausführungsform der Erfindung.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[Erste Ausführungsform]

[0026] Unter Bezugnahme auf die Zeichnungen werden nun bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung im Einzelnen beschrieben. Zunächst wird auf **Fig. 1** Bezug genommen, um eine schematische Ausgestaltung einer Magnetsensorvorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung zu beschreiben. Die Magnetsensorvorrichtung **1** gemäß der vorliegenden Ausführungsform ist eine Vorrichtung zum Erfassen von Komponenten eines äußeren Magnetfelds, die in drei zueinander orthogonalen Richtungen verlaufen. Beispielsweise ist die Magnetsensorvorrichtung **1** in eine elektronische Vorrichtung wie etwa ein Informationsgerät eingebaut und wird als geomagnetische Sensorvorrichtung verwendet.

[0027] Wie in **Fig. 1** dargestellt, umfasst die Magnetsensorvorrichtung **1** einen Schaltungschip **3** und einen Sensorchip **4**. Sowohl der Schaltungschip **3** als auch der Sensorchip **4** hat die Form eines rechteckigen Parallelepipeds. Der Schaltungschip **3** und der Sensorchip **4** haben ihre jeweiligen äußeren Flächen.

[0028] Die äußeren Flächen des Schaltungschips **3** umfassen eine obere Oberfläche **3a** und eine untere Oberfläche **3b**, die einander entgegengesetzt sind, sowie vier Seitenflächen, die die obere Oberfläche **3a** und die untere Oberfläche **3b** verbinden. Die äußeren Flächen des Sensorchips **4** umfassen eine obere Oberfläche **4a** und eine untere Oberfläche **4b**, die einander entgegengesetzt sind, sowie vier Seitenflächen, die die obere Oberfläche **4a** und die untere Oberfläche **4b** verbinden. Der Sensorchip **4** ist auf die obere Oberfläche **3a** des Schaltungschips **3** mit einer solchen Ausrichtung montiert, dass die untere Oberfläche **4b** der oberen Oberfläche **3a** zugewandt ist.

[0029] Der Schaltungschip **3** hat eine Gruppe von Anschlüssen, die auf der oberen Oberfläche **3a** vorgesehen ist. Der Sensorchip **4** hat eine Gruppe von Anschlüssen, die auf der oberen Oberfläche **4a** vorgesehen ist. Die Gruppe von Anschlüssen des Sensorchips **4** ist mit der Gruppe von Anschlüssen des Schaltungschips **3** beispielsweise durch Bonddrähte verbunden.

[0030] **Fig. 2** ist ein Funktionsblockschaltbild, das die Ausgestaltung der Magnetsensorvorrichtung **1** veranschaulicht. Wie in **Fig. 2** dargestellt, umfasst der Sensorchip **4** einen ersten Magnetsensor **10**, einen zweiten Magnetsensor **20** und einen dritten Magnetsensor **30**.

[0031] Der erste Magnetsensor **10** erzeugt ein erstes Erfassungssignal, das eine Entsprechung zu einer ersten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist. Die erste äußere Magnetfeldkomponente ist eine Komponente eines äußeren Magnetfelds und verläuft in einer ersten Detektionsrichtung. Der zweite Magnetsensor **20** erzeugt ein zweites Erfassungssignal, das eine Entsprechung zu einer zweiten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist. Die zweite äußere Magnetfeldkomponente ist eine Komponente des äußeren Magnetfelds und verläuft in einer zweiten Detektionsrichtung. Der dritte Magnetsensor **30** erzeugt ein drittes Erfassungssignal, das eine Entsprechung zu einer dritten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist. Die dritte äußere Magnetfeldkomponente ist eine Komponente des äußeren Magnetfelds und verläuft in einer dritten Detektionsrichtung.

[0032] Die Magnetsensorvorrichtung **1** umfasst ferner einen Magnetfelderzeugungsbereich **70**. Der Magnetfelderzeugungsbereich **70** kann entweder im Schaltungschip **3** oder im Sensorchip **4** enthalten sein. Unten wird ein Beispiel beschrieben, in dem der Magnetfelderzeugungsbereich **70** im Sensorchip **4** enthalten ist. Der Magnetfelderzeugungsbereich **70** umfasst erste bis dritte Magnetfeldgeneratoren, die jeweils erste bis dritte zusätzliche Magnetfelder erzeugen können. Die ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren werden später im Einzelnen beschrieben.

[0033] Der Schaltungschip **3** umfasst einen Korrekturprozessor **80** zum Steuern des Magnetfelderzeugungsbereichs **70** und zum Korrigieren der ersten bis dritten Erfassungssignale. Der Korrekturprozessor **80** wird beispielsweise von einer anwendungsspezifischen integrierten Schaltung (ASIC) gebildet.

[0034] Der Korrekturprozessor **80** umfasst Analog-Digital-Umsetzer (im Folgenden „ A/D-Wandler “) **81**, **82** und **83**, einen Korrekturverarbeitungsbereich **84**, einen Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85**, einen Ansteuerbereich **86** und einen Steuerbereich **87**. Die A/D-Wandler **81**, **82** und **83** wandeln das erste, zweite und dritte Erfassungssignal jeweils in eine digitale Form um. Der Korrekturverarbeitungsbereich **84**, der Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85**, der Ansteuerbereich **86** und der Steuerbereich **87** sind Funktionsblöcke für die Durchführung der unten beschriebenen Verarbeitung.

[0035] Die Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** führt in Zusammenarbeit mit dem Steuerbereich **87** und dem Ansteuerbereich **86** eine Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung durch, um die Korrekturfunktionen für die Korrektur der ersten bis dritten Erfassungssignale zu bestimmen. Der Steuerbereich **87** steuert den Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** und den Ansteuerbereich **86** derart, dass die Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung durchgeführt wird. Der Ansteuerbereich **86** steuert den Magnetfelderzeugungsbereich **70**, um die ersten bis dritten zusätzlichen Magnetfelder zu erzeugen und die ersten bis dritten zusätzlichen Magnetfelder zu ändern. Der Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** bestimmt die Korrekturfunktionen auf der Grundlage von Daten, die jeweilige Änderungen der ersten bis dritten Erfassungssignale betreffen, wenn die ersten bis dritten zusätzlichen Magnetfelder geändert werden.

[0036] Der Korrekturverarbeitungsbereich **84** führt eine Korrekturverarbeitung durch, um die ersten bis dritten Erfassungssignale zu korrigieren, um unter Verwendung der Erfassungssignale und der Korrekturfunktionen erste bis dritte korrigierte Signale zu erzeugen. Der Korrekturverarbeitungsbereich **84** gibt die ersten bis dritten korrigierten Signale an einen Hostprozessor **200** der elektronischen Vorrichtung aus, in die die Magnetsensorvorrichtung **1** eingebunden ist. Die Ausgestaltung des Hostprozessors **200** wird später beschrieben.

[0037] Das Layout der ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** wird nun mit Bezug auf **Fig. 3** beschrieben. **Fig. 3** ist eine Draufsicht des Sensorchips **4**. Wie in **Fig. 3** dargestellt, umfasst der Sensorchip **4** die vorgenannten ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** sowie ein Substrat **51**, das die ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** trägt. Das Substrat **51** hat eine obere Oberfläche **51a** und eine untere Oberfläche **51b**. Die untere Oberfläche **51b** ist in **Fig. 9** dargestellt, die später beschrieben wird.

[0038] Nun werden ein Referenzkoordinatensystem und erste bis dritte Sensor-Koordinatensysteme der vorliegenden Ausführungsform beschrieben. Das Referenzkoordinatensystem ist ein Koordinatensystem, das mit Bezug auf eine Referenzebene **RP** festgelegt ist. Die Richtungen der ersten bis dritten zusätzlichen Magnetfelder, die von dem Magnetfelderzeugungsbereich **70** erzeugt werden, werden in dem Referenzkoordinatensystem dargestellt. Wenn der Magnetfelderzeugungsbereich **70** beispielsweise, wie oben beschrieben, im Sensorchip **4** enthalten ist, wird die

obere Oberfläche **51a** des Substrats **51** als die Referenzebene **RP** angesehen. Wenn der Magnetfelderzeugungsbereich **70** beispielsweise im Schaltungschip **3** enthalten ist, wird die obere Oberfläche **3a** des Schaltungschips **3** als die Referenzebene **RP** angesehen.

[0039] Die ersten bis dritten Sensor-Koordinatensysteme sind Koordinatensysteme, die jeweils mit Bezug auf die ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** festgelegt sind. Die ersten bis dritten Sensor-Koordinatensysteme werden im Folgenden einfach als Sensor-Koordinatensystem als einem allgemeinen Ausdruck bezeichnet. Eine X-Richtung, eine Y-Richtung und eine Z-Richtung sind sowohl im Referenzkoordinatensystem als auch im Sensor-Koordinatensystem definiert.

[0040] Die X-, Y- und Z-Richtungen des Referenzkoordinatensystems sind zueinander orthogonal. Die Z-Richtung des Referenzkoordinatensystems ist eine zur Referenzebene **RP** senkrechte Richtung und von der unteren Oberfläche **51b** zur oberen Oberfläche **51a** des Substrats **51** gerichtet. Die X- und Y-Richtungen des Referenzkoordinatensystems sind zur Referenzebene **RP** parallele Richtungen.

[0041] Die Magnetsensorvorrichtung **1** ist derart gestaltet, dass die ersten bis dritten Sensor-Koordinatensysteme mit dem Referenzkoordinatensystem übereinstimmen. Allerdings kann mindestens eines von den ersten bis dritten Sensor-Koordinatensystemen aus Gründen wie etwa einer Fehlausrichtung der ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** mit dem Substrat **51** vom Referenzkoordinatensystem abweichen.

[0042] Bei sowohl dem Referenzkoordinatensystem als auch dem Sensor-Koordinatensystem sind die der X-Richtung entgegengesetzte Richtung als die -X-Richtung, die der Y-Richtung entgegengesetzte Richtung als die -Y-Richtung und die der Z-Richtung entgegengesetzte Richtung als die -Z-Richtung definiert. Im Folgenden bezieht sich der Begriff „über “ auf Positionen, die in der Z-Richtung vor einer Referenzposition in der Z-Richtung liegen, und „unter “ bezieht sich auf Positionen, die den Positionen „über “ bezogen auf die Referenzposition entgegengesetzt sind. Für jeden Bestandteil der Magnetsensorvorrichtung **1** bezeichnet der Begriff „obere Oberfläche“ eine Oberfläche des Bestandteils, die in der Z-Richtung an dessen Ende liegt, und „untere Oberfläche “ bezeichnet eine Oberfläche des Bestandteils, die in der -Z-Richtung an dessen Ende liegt.

[0043] Sofern nicht anders angegeben, gelten im Folgenden die in den Zeichnungen gezeigten Richtungen X, Y und Z sowohl für das Referenzkoordinatensystem als auch für das Sensor-Koordinatensystem.

[0044] Die Referenzebene **RP** umfasst drei verschiedene Flächen: eine erste Fläche **A10**; eine zweite Fläche **A20**; und eine dritte Fläche **A30**. Die erste Fläche **A10** ist eine Fläche, die durch die senkrechte Projektion des ersten Magnetsensors **10** auf die Referenzebene **RP** gebildet wird. Die zweite Fläche **A20** ist eine Fläche, die durch die senkrechte Projektion des zweiten Magnetsensors **20** auf die Referenzebene **RP** gebildet wird. Die dritte Fläche **A30** ist eine Fläche, die durch die senkrechte Projektion des dritten Magnetsensors **30** auf die Referenzebene **RP** gebildet wird.

[0045] Hier werden zwei zueinander orthogonale Geraden, die in der Referenzebene **RP** liegen, durch den geometrischen Schwerpunkt **C30** der dritten Fläche **A30** verlaufen und senkrecht zur Z-Richtung des Referenzkoordinatensystems sind, als erste Gerade **L1** und zweite Gerade **L2** bezeichnet. Bei der vorliegenden Ausführungsform ist insbesondere die erste Gerade **L1** parallel zur X-Richtung des Referenzkoordinatensystems, und die zweite Gerade **L2** ist parallel zur Y-Richtung des Referenzkoordinatensystems.

[0046] Bei der vorliegenden Ausführungsform umfasst der erste Magnetsensor **10** einen ersten Abschnitt **11** und einen zweiten Abschnitt **12**, die sich in Positionen befinden, die in der X-Richtung des Referenzkoordinatensystems voneinander verschieden sind. Die erste Fläche **A10** umfasst eine erste Teilfläche **A11**, die durch die senkrechte Projektion des ersten Abschnitts **11** des ersten Magnetsensors **10** auf die Referenzebene **RP** gebildet wird, und eine zweite Teilfläche **A12**, die durch die senkrechte Projektion des zweiten Abschnitts **12** des ersten Magnetsensors **10** auf die Referenzebene **RP** gebildet wird. Die erste und die zweite Teilfläche **A11** und **A12** liegen auf entgegengesetzten Seiten der dritten Fläche **A30** in einer zur ersten Geraden **L1** parallelen Richtung.

[0047] Der zweite Magnetsensor **20** umfasst einen ersten Abschnitt **21** und einen zweiten Abschnitt **22**, die sich in Positionen befinden, die in der Y-Richtung des Referenzkoordinatensystems voneinander verschieden sind. Die zweite Fläche **A20** umfasst eine dritte Teilfläche **A21**, die durch die senkrechte Projektion des ersten Abschnitts **21** des zweiten Magnetsensors **20** auf die Referenzebene **RP** gebildet wird, und eine vierte Teilfläche **A22**, die durch die senkrechte Projektion des zweiten Abschnitts **22** des zweiten Magnetsensors **20** auf die Referenzebene **RP** gebildet wird. Die dritte und die vierte Teilfläche **A21** und **A22** liegen auf entgegengesetzten Seiten der dritten Fläche **A30** in einer zur zweiten Geraden **L2** parallelen Richtung.

[0048] Bei der vorliegenden Ausführungsform sind die erste und die zweite Teilfläche **A11** und **A12** so gelegen, dass sie von der ersten Geraden **L1** durchkreuzt werden. Die dritte und die vierte Teilfläche **A21**

und **A22** sind so gelegen, dass sie von der zweiten Geraden **L2** durchkreuzt werden.

[0049] Vorzugsweise wird kein Teil der ersten Fläche **A10** von der zweiten Geraden **L2** durchkreuzt. Außerdem wird vorzugsweise kein Teil der zweiten Fläche **A20** von der ersten Geraden **L1** durchkreuzt.

[0050] Bei der vorliegenden Ausführungsform haben insbesondere die erste Fläche **A10** und die zweite Fläche **A20** von oben betrachtet eine derartige Lagebeziehung, dass sich die erste Fläche **A10** mit der zweiten Fläche **A20** deckt, wenn die erste Fläche **A10** um 90° um den geometrischen Schwerpunkt **C30** der dritten Fläche **A30** gedreht wird. Wenn in **Fig. 3** die erste und die zweite Teilfläche **A11** und **A12** entgegen dem Uhrzeigersinn um 90° um den geometrischen Schwerpunkt **C30** gedreht werden, decken sich die erste und die zweite Teilfläche **A11** und **A12** mit der dritten beziehungsweise vierten Teilfläche **A21** und **A22**.

[0051] Jeder der ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** umfasst mindestens ein magnetisches Erfassungselement.

[0052] Nun wird auf **Fig. 4** und **Fig. 5** Bezug genommen, um ein Ausgestaltungsbeispiel des Sensorchips **4** zu beschreiben. **Fig. 4** ist eine erläuternde Darstellung, die eine Ausgestaltung des Sensorchips **4** darstellt. **Fig. 5** ist ein Schaltbild, das eine beispielhafte Schaltungsanordnung des Sensorchips **4** veranschaulicht.

[0053] Wie oben beschrieben, erzeugt der erste Magnetsensor **10** das erste Erfassungssignal, das eine Entsprechung zu der ersten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist, die eine Komponente eines äußeren Magnetfelds ist und in der ersten Detektionsrichtung verläuft. Der zweite Magnetsensor **20** erzeugt das zweite Erfassungssignal, das eine Entsprechung zu der zweiten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist, die eine Komponente des äußeren Magnetfelds ist und in der zweiten Detektionsrichtung verläuft. Der dritte Magnetsensor **30** erzeugt das dritte Erfassungssignal, das eine Entsprechung zu der dritten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist, die eine Komponente des äußeren Magnetfelds ist und in der dritten Detektionsrichtung verläuft.

[0054] Bei der vorliegenden Ausführungsform ist insbesondere die erste Detektionsrichtung eine zur X-Richtung des ersten Sensor-Koordinatensystems parallele Richtung. Die erste Detektionsrichtung umfasst die X-Richtung und die -X-Richtung des ersten Sensor-Koordinatensystems. Die zweite Detektionsrichtung ist eine zur Y-Richtung des zweiten Sensor-Koordinatensystems parallele Richtung. Die zweite Detektionsrichtung umfasst die Y-Richtung und die -Y-Richtung des zweiten Sensor-Koordinatensystems. Die dritte Detektionsrichtung ist eine zur Z-Richtung des dritten Sensor-Koordinatensystems parallele Richtung. Die dritte Detektionsrichtung umfasst die Z-Richtung und die -Z-Richtung des dritten Sensor-Koordinatensystems.

[0055] Wie in **Fig. 4** dargestellt, umfasst die Anschlussgruppe des Sensorchips **4**: einen Spannungsversorgungsanschluss **Vx** und Ausgangsanschlüsse **Vx+** und **Vx-**, die dem ersten Magnetsensor **10** zugeordnet sind; einen Spannungsversorgungsanschluss **Vy** und Ausgangsanschlüsse **Vy+** und **Vy-**, die dem zweiten Magnetsensor **20** zugeordnet sind; einen Spannungsversorgungsanschluss **Vz** und Ausgangsanschlüsse **Vz+** und **Vz-**, die dem dritten Magnetsensor **30** zugeordnet sind; und einen Masseanschluss **G**, den die ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** gemeinsam nutzen.

[0056] In dem in **Fig. 5** dargestellten Beispiel umfasst der erste Magnetsensor **10** vier Widerstandsbereiche **Rx1**, **Rx2**, **Rx3** und **Rx4**, die eine Wheatstone-Brückenschaltung bilden. Jeder der Widerstandsbereiche **Rx1**, **Rx2**, **Rx3** und **Rx4** hat einen Widerstand, der in Abhängigkeit von der ersten äußeren Magnetfeldkomponente variiert. Der Widerstandsbereich **Rx1** ist zwischen dem Spannungsversorgungsanschluss **Vx** und dem Ausgangsanschluss **Vx+** vorgesehen. Der Widerstandsbereich **Rx2** ist zwischen dem Ausgangsanschluss **Vx+** und dem Masseanschluss **G** vorgesehen. Der Widerstandsbereich **Rx3** ist zwischen dem Spannungsversorgungsanschluss **Vx** und dem Ausgangsanschluss **Vx-** vorgesehen. Der Widerstandsbereich **Rx4** ist zwischen dem Ausgangsanschluss **Vx-** und dem Masseanschluss **G** vorgesehen.

[0057] Der zweite Magnetsensor **20** umfasst vier Widerstandsbereiche **Ry1**, **Ry2**, **Ry3** und **Ry4**, die eine Wheatstone-Brückenschaltung bilden. Jeder der Widerstandsbereiche **Ry1**, **Ry2**, **Ry3** und **Ry4** hat einen Widerstand, der in Abhängigkeit von der zweiten äußeren Magnetfeldkomponente variiert. Der Widerstandsbereich **Ry1** ist zwischen dem Spannungsversorgungsanschluss **Vy** und dem Ausgangsanschluss **Vy+** vorgesehen. Der Widerstandsbereich **Ry2** ist zwischen dem Ausgangsanschluss **Vy+** und dem Masseanschluss **G** vorgesehen. Der Widerstandsbereich **Ry3** ist zwischen dem Spannungsversorgungsanschluss **Vy** und dem Ausgangsanschluss **Vy-** vorgesehen. Der Widerstandsbereich **Ry4** ist zwischen dem Ausgangsanschluss **Vy-** und dem Masseanschluss **G** vorgesehen.

[0058] Der dritte Magnetsensor **30** umfasst vier Widerstandsbereiche **Rz1**, **Rz2**, **Rz3** und **Rz4**, die eine Wheatstone-Brückenschaltung bilden. Jeder der Widerstandsbereiche **Rz1**, **Rz2**, **Rz3** und **Rz4** hat einen Widerstand, der in Abhängigkeit von einer Ausgangsmagnetfeldkomponente variiert, die von einem

Magnetfeldumwandlungsbereich ausgegeben wird, der später beschrieben wird. Der Widerstandsbereich **Rz1** ist zwischen dem Spannungsversorgungsanschluss **Vz** und dem Ausgangsanschluss **Vz+** vorgesehen. Der Widerstandsbereich **Rz2** ist zwischen dem Ausgangsanschluss **Vz+** und dem Masseanschluss **G** vorgesehen. Der Widerstandsbereich **Rz3** ist zwischen dem Spannungsversorgungsanschluss **Vz** und dem Ausgangsanschluss **Vz-** vorgesehen. Der Widerstandsbereich **Rz4** ist zwischen dem Ausgangsanschluss **Vz-** und dem Masseanschluss **G** vorgesehen.

[0059] Im Folgenden wird der Begriff „Widerstandsbereich R“ verwendet, um auf einen beliebigen der Widerstandsbereiche **Rx1**, **Rx2**, **Rx3**, **Rx4**, **Ry1**, **Ry2**, **Ry3**, **Ry4**, **Rz1**, **Rz2**, **Rz3** und **Rz4** Bezug zu nehmen. Jeder Widerstandsbereich **R** umfasst mindestens ein magnetisches Erfassungselement. Bei der vorliegenden Ausführungsform ist das mindestens eine magnetische Erfassungselement insbesondere mindestens ein magnetoresistives Element. Das magnetoresistive Element wird im Folgenden als MR-Element bezeichnet.

[0060] Bei der vorliegenden Ausführungsform ist das MR-Element insbesondere ein Spinventil-MR-Element. Das Spinventil-MR-Element umfasst eine in der Magnetisierung fixierte Schicht mit einer Magnetisierung in einer festgelegten Richtung, eine freie Schicht mit einer Magnetisierung, deren Richtung in Abhängigkeit von der Richtung eines angelegten Magnetfelds veränderlich ist, und eine Spaltschicht, die sich zwischen der in der Magnetisierung fixierten Schicht und der freien Schicht befindet. Das Spinventil-MR-Element kann ein magnetoresistives Element mit Tunneleffekt (TMR) oder ein Element mit Riesenmagnetowiderstand (GMR) sein. Bei dem TMR-Element ist die Spaltschicht eine Tunnelsperrschicht. Bei dem GMR-Element ist die Spaltschicht eine nichtmagnetische leitende Schicht. Der Widerstand des Spinventil-MR-Elements ändert sich mit dem Winkel, den die Magnetisierungsrichtung der freien Schicht zur Magnetisierungsrichtung der in der Magnetisierung fixierten Schicht bildet. Der Widerstand des Spinventil-MR-Elements hat seinen Mindestwert, wenn der vorstehende Winkel 0° beträgt, und er hat seinen Höchstwert, wenn der vorstehende Winkel 180° beträgt. Bei jedem MR-Element weist die freie Schicht eine Formanisotropie auf, welche die Richtung der leichten Magnetisierungsachse derart festlegt, dass sie orthogonal zur Magnetisierungsrichtung der in der Magnetisierung fixierten Schicht ist.

[0061] In **Fig. 5** geben die Vollpfeile die Magnetisierungsrichtungen der in der Magnetisierung fixierten Schichten der MR-Elemente an. In dem in **Fig. 5** dargestellten Beispiel sind die in der Magnetisierung fixierten Schichten der MR-Elemente in jedem der Widerstandsbereiche **Rx1** und **Rx4** in der X-Richtung des ersten Sensor-Koordinatensystems magnetisiert. Die in der Magnetisierung fixierten Schichten der MR-Elemente in jedem der Widerstandsbereiche **Rx2** und **Rx3** sind in der -X-Richtung des ersten Sensor-Koordinatensystems magnetisiert.

[0062] Die in der Magnetisierung fixierten Schichten der MR-Elemente in jedem der Widerstandsbereiche **Ry1** und **Ry4** sind in der Y-Richtung des zweiten Sensor-Koordinatensystems magnetisiert. Die in der Magnetisierung fixierten Schichten der MR-Elemente in jedem der Widerstandsbereiche **Ry2** und **Ry3** sind in der -Y-Richtung des zweiten Sensor-Koordinatensystems magnetisiert. Die Magnetisierungsrichtungen der in der Magnetisierung fixierten Schichten der MR-Elemente in jedem der Widerstandsbereiche **Rz1**, **Rz2**, **Rz3** und **Rz4** werden später beschrieben.

[0063] Eine Potentialdifferenz zwischen den Ausgangsanschlüssen **Vx+** und **Vx-** weist eine Entsprechung zu der ersten äußeren Magnetfeldkomponente auf. Der erste Magnetsensor **10** erzeugt das erste Erfassungssignal, das der Potentialdifferenz zwischen den Ausgangsanschlüssen **Vx+** und **Vx-** entspricht. Das erste Erfassungssignal kann eines sein, das erhalten wird, indem die Amplitude oder der Versatz der Potentialdifferenz zwischen den Ausgangsanschlüssen **Vx+** und **Vx-** reguliert wird.

[0064] Eine Potentialdifferenz zwischen den Ausgangsanschlüssen **Vy+** und **Vy-** weist eine Entsprechung zu der zweiten äußeren Magnetfeldkomponente auf. Der zweite Magnetsensor **20** erzeugt das zweite Erfassungssignal, das der Potentialdifferenz zwischen den Ausgangsanschlüssen **Vy+** und **Vy-** entspricht. Das zweite Erfassungssignal kann eines sein, das erhalten wird, indem die Amplitude oder der Versatz der Potentialdifferenz zwischen den Ausgangsanschlüssen **Vy+** und **Vy-** reguliert wird.

[0065] Eine Potentialdifferenz zwischen den Ausgangsanschlüssen **Vz+** und **Vz-** weist eine Entsprechung zu der dritten äußeren Magnetfeldkomponente auf. Der dritte Magnetsensor **30** erzeugt das dritte Erfassungssignal, das der Potentialdifferenz zwischen den Ausgangsanschlüssen **Vz+** und **Vz-** entspricht. Das dritte Erfassungssignal kann eines sein, das erhalten wird, indem die Amplitude oder der Versatz der Potentialdifferenz zwischen den Ausgangsanschlüssen **Vz+** und Vzreguliert wird.

[0066] Nun wird auf **Fig. 4** Bezug genommen, um ein beispielhaftes Layout der Widerstandsbereiche **Rx1**, **Rx2**, **Rx3**, **Rx4**, **Ry1**, **Ry2**, **Ry3** und **Ry4** zu beschreiben. In diesem Beispiel umfasst der erste Abschnitt **11** des ersten Magnetsensors **10** die Widerstandsbereiche **Rx1** und **Rx4**, und der zweite Abschnitt **12** des ersten Magnetsensors **10** umfasst die Widerstandsbereiche **Rx2** und **Rx3**. Der erste Abschnitt **21** des

zweiten Magnetsensors **20** umfasst die Widerstandsbereiche **Ry1** und **Ry4**, und der zweite Abschnitt **22** des zweiten Magnetsensors **20** umfasst die Widerstandsbereiche **Ry2** und **Ry3**.

[0067] In **Fig. 4** geben die Vollpfeile die Magnetisierungsrichtungen der in der Magnetisierung fixierten Schichten der MR-Elemente an. In dem in **Fig. 4** dargestellten Beispiel haben in jedem von dem ersten Abschnitt **11** des ersten Magnetsensors **10**, dem zweiten Abschnitt **12** des ersten Magnetsensors **10**, dem ersten Abschnitt **21** des zweiten Magnetsensors **20** und dem zweiten Abschnitt **22** des zweiten Magnetsensors **20** die in der Magnetisierung fixierten Schichten der darin enthaltenen MR-Elemente die gleiche Magnetisierungsrichtung. Ein solches Beispiel macht es einfach, die Magnetisierungsrichtungen der in der Magnetisierung fixierten Schichten in einer Vielzahl von MR-Elementen festzulegen.

[0068] Nun wird ein Ausgestaltungsbeispiel von MR-Elementen mit Bezug auf **Fig. 6** beschrieben. Ein in **Fig. 6** dargestelltes MR-Element **100** umfasst eine antiferromagnetische Schicht **101**, eine in der Magnetisierung fixierte Schicht **102**, eine Spaltschicht **103** und eine freie Schicht **104**, die in dieser Reihenfolge, ausgehend von der geringsten Entfernung bis zur größten Entfernung vom Substrat **51**, gestapelt sind. Die antiferromagnetische Schicht **101** ist aus einem antiferromagnetischen Material ausgebildet und steht in Austauschkopplung mit der in der Magnetisierung fixierten Schicht **102**, um hierdurch die Magnetisierungsrichtung der in der Magnetisierung fixierten Schicht **102** zu fixieren.

[0069] Es sollte einleuchten, dass die Schichten **101** bis **104** von jedem MR-Element **100** in der Reihenfolge gestapelt sein können, die der in **Fig. 6** gezeigten Reihenfolge entgegengesetzt ist. Das MR-Element **100** kann ohne die antiferromagnetische Schicht **101** ausgestaltet sein. In einem solchen Fall kann die Ausgestaltung des MR-Elements **100** derart sein, dass beispielsweise die antiferromagnetische Schicht **101** und die in der Magnetisierung fixierte Schicht **102** durch eine in der Magnetisierung fixierte Schicht eines künstlichen antiferromagnetischen Aufbaus ersetzt sind, der zwei ferromagnetische Schichten und eine zwischen die zwei ferromagnetischen Schichten eingefügte nichtmagnetische Metallschicht umfasst. Das magnetische Erfassungselement kann ein von dem MR-Element verschiedenes Element zum Erfassen eines Magnetfelds sein, wie etwa ein Hall-Element oder ein Magnetimpedanzelement.

[0070] Als Nächstes wird ein Ausgestaltungsbeispiel des Widerstandsbereichs **R** mit Bezug auf **Fig. 7** beschrieben. In diesem Beispiel umfasst der Widerstandsbereich **R** eine Vielzahl von MR-Elementen **100**, die in Reihe geschaltet sind. Der Widerstandsbereich **R** umfasst ferner eine oder mehrere Verbindungsschichten, um zwei MR-Elemente **100**, die in der Schaltungsanordnung nebeneinanderliegen, derart elektrisch zu verbinden, dass die Vielzahl von MR-Elementen **100** in Reihe geschaltet sind. In dem in **Fig. 7** dargestellten Beispiel umfasst der Widerstandsbereich **R** - als eine oder mehrere Verbindungsschichten - eine oder mehrere untere Verbindungsschichten **111** und eine oder mehrere obere Verbindungsschichten **112**. Die untere Verbindungsschicht **111** ist in Kontakt mit den unteren Oberflächen von zwei in der Schaltungsanordnung nebeneinanderliegenden MR-Elementen **100** und verbindet die zwei MR-Elemente **100** elektrisch. Die obere Verbindungsschicht **112** ist in Kontakt mit den oberen Oberflächen von zwei in der Schaltungsanordnung nebeneinanderliegenden MR-Elementen **100** und verbindet die zwei MR-Elemente **100** elektrisch.

[0071] Als Nächstes wird ein Ausgestaltungsbeispiel des dritten Magnetsensors **30** mit Bezug auf **Fig. 8** beschrieben. Der dritte Magnetsensor **30** umfasst zusätzlich zu den Widerstandsbereichen **Rz1**, **Rz2**, **Rz3** und **Rz4** eine weichmagnetische Struktur **40**, die aus einem weichmagnetischen Material ausgebildet ist. Die weichmagnetische Struktur **40** umfasst einen Magnetfeldumwandlungsbereich **42** und mindestens eine weichmagnetische Schicht. Der Magnetfeldumwandlungsbereich **42** empfängt die dritte äußere Magnetfeldkomponente und gibt eine Ausgangsmagnetfeldkomponente aus, die in einer zur dritten Detektionsrichtung senkrechten Richtung verläuft. Die Stärke der Ausgangsmagnetfeldkomponente weist eine Entsprechung zur Stärke der dritten äußeren Magnetfeldkomponente auf. Der dritte Magnetsensor **30** erfasst die Stärke der dritten äußeren Magnetfeldkomponente, indem er die Stärke der Ausgangsmagnetfeldkomponente erfasst.

[0072] In dem in **Fig. 8** dargestellten Beispiel umfasst der Magnetfeldumwandlungsbereich **42**: ein unteres Joch **42B1** und ein oberes Joch **42T1**, die zum Widerstandsbereich **Rz1** gehören; ein unteres Joch **42B2** und ein oberes Joch **42T2**, die zum Widerstandsbereich **Rz2** gehören; ein unteres Joch **42B3** und ein oberes Joch **42T3**, die zum Widerstandsbereich **Rz3** gehören; ein unteres Joch **42B4** und ein oberes Joch **42T4**, die zum Widerstandsbereich **Rz4** gehören.

[0073] Die unteren Joche **42B1**, **42B2**, **42B3** und **42B4** und die oberen Joche **42T1**, **42T2**, **42T3** und **42T4** haben jeweils die Form eines rechteckigen Parallelepipeds, das in einer zur Z-Richtung des dritten Sensor-Koordinatensystems senkrechten Richtung langgestreckt ist.

[0074] Das untere Joch **42B1** und das obere Joch **42T1** liegen nahe an dem Widerstandsbereich **Rz1**. Das untere Joch **42B1** liegt näher an der oberen Oberfläche **51a** des Substrats **51** als der Wider-

standsbereich **Rz1**. Das obere Joch **42T1** ist weiter entfernt von der oberen Oberfläche **51a** des Substrats **51** gelegen als der Widerstandsbereich **Rz1**. Von oben betrachtet liegt der Widerstandsbereich **Rz1** zwischen dem unteren Joch **42B1** und dem oberen Joch **42T1**.

[0075] Das untere Joch **42B2** und das obere Joch **42T2** liegen nahe an dem Widerstandsbereich **Rz2**. Das untere Joch **42B2** liegt näher an der oberen Oberfläche **51a** des Substrats **51** als der Widerstandsbereich **Rz2**. Das obere Joch **42T2** ist weiter entfernt von der oberen Oberfläche **51a** des Substrats **51** gelegen als der Widerstandsbereich **Rz2**. Von oben betrachtet liegt der Widerstandsbereich **Rz2** zwischen dem unteren Joch **42B2** und dem oberen Joch **42T2**.

[0076] Das untere Joch **42B3** und das obere Joch **42T3** liegen nahe an dem Widerstandsbereich **Rz3**. Das untere Joch **42B3** liegt näher an der oberen Oberfläche **51a** des Substrats **51** als der Widerstandsbereich **Rz3**. Das obere Joch **42T3** ist weiter entfernt von der oberen Oberfläche **51a** des Substrats **51** gelegen als der Widerstandsbereich **Rz3**. Von oben betrachtet liegt der Widerstandsbereich **Rz3** zwischen dem unteren Joch **42B3** und dem oberen Joch **42T3**.

[0077] Das untere Joch **42B4** und das obere Joch **42T4** liegen nahe an dem Widerstandsbereich **Rz4**. Das untere Joch **42B4** liegt näher an der oberen Oberfläche **51a** des Substrats **51** als der Widerstandsbereich **Rz4**. Das obere Joch **42T4** ist weiter entfernt von der oberen Oberfläche **51a** des Substrats **51** gelegen als der Widerstandsbereich **Rz4**. Von oben betrachtet liegt der Widerstandsbereich **Rz4** zwischen dem unteren Joch **42B4** und dem oberen Joch **42T4**.

[0078] Die von dem Magnetfeldumwandlungsbereich **42** ausgegebene Ausgangsmagnetfeldkomponente beinhaltet eine Magnetfeldkomponente, die von dem unteren Joch **42B1** und dem oberen Joch **42T1** erzeugt wird und an den Widerstandsbereich **Rz1** angelegt ist, eine Magnetfeldkomponente, die von dem unteren Joch **42B2** und dem oberen Joch **42T2** erzeugt wird und an den Widerstandsbereich **Rz2** angelegt ist, eine Magnetfeldkomponente, die von dem unteren Joch **42B3** und dem oberen Joch **42T3** erzeugt wird und an den Widerstandsbereich **Rz3** angelegt ist, sowie eine Magnetfeldkomponente, die von dem unteren Joch **42B4** und dem oberen Joch **42T4** erzeugt wird und an den Widerstandsbereich **Rz4** angelegt ist.

[0079] In **Fig. 8** geben die vier Hohlpfeile die Richtung der Magnetfeldkomponenten an, die an die Widerstandsbereiche **Rz1**, **Rz2**, **Rz3** und **Rz4** angelegt sind, wenn die dritte äußere Magnetfeldkomponente in der Z-Richtung des dritten Sensor-Koordinatensystems verläuft. Demgegenüber geben die vier Vollpfeile in **Fig. 8** die Magnetisierungsrichtungen der in der Magnetisierung fixierten Schichten **102** der MR-Elemente **100** der Widerstandsbereiche **Rz1**, **Rz2**, **Rz3** beziehungsweise **Rz4** an. Die Magnetisierungsrichtungen der in der Magnetisierung fixierten Schichten **102** der MR-Elemente **100** der Widerstandsbereiche **Rz1** und **Rz4** sind gleich den Richtungen der Magnetfeldkomponenten, die jeweils an die Widerstandsbereiche **Rz1** und **Rz4** angelegt sind, wenn die dritte äußere Magnetfeldkomponente in der Z-Richtung des dritten Sensor-Koordinatensystems verläuft. Die Magnetisierungsrichtungen der in der Magnetisierung fixierten Schichten **102** der MR-Elemente **100** der Widerstandsbereiche **Rz2** und **Rz3** sind den Richtungen der Magnetfeldkomponenten entgegengesetzt, die jeweils an die Widerstandsbereiche **Rz2** und **Rz3** angelegt sind, wenn die dritte äußere Magnetfeldkomponente in der Z-Richtung des dritten Sensor-Koordinatensystems verläuft.

[0080] Nun wird die Funktion des dritten Magnetsensors **30** beschrieben. Wenn es keine dritte äußere Magnetfeldkomponente gibt, ist die Magnetisierungsrichtung der freien Schicht **104** von jedem MR-Element **100** in den Widerstandsbereichen **Rz1**, **Rz2**, **Rz3** und **Rz4** senkrecht zur Magnetisierungsrichtung der in der Magnetisierung fixierten Schicht **102**.

[0081] Wenn die dritte äußere Magnetfeldkomponente in der Z-Richtung des dritten Sensor-Koordinatensystems verläuft, neigt sich die Magnetisierungsrichtung der freien Schicht **104** von jedem MR-Element **100** in den Widerstandsbereichen **Rz1** und **Rz4** von der zur Magnetisierungsrichtung der in der Magnetisierung fixierten Schicht **102** senkrechten Richtung hin zur Magnetisierungsrichtung der in der Magnetisierung fixierten Schicht **102**. Demgegenüber neigt sich die Magnetisierungsrichtung der freien Schicht **104** von jedem MR-Element **100** in den Widerstandsbereichen **Rz2** und **Rz3** von der zur Magnetisierungsrichtung der in der Magnetisierung fixierten Schicht **102** senkrechten Richtung hin zu einer Richtung, die der Magnetisierungsrichtung der in der Magnetisierung fixierten Schicht **102** entgegengesetzt ist. Im Vergleich zu dem Zustand, in dem es keine dritte äußere Magnetfeldkomponente gibt, nimmt demzufolge der Widerstand der Widerstandsbereiche **Rz1** und **Rz4** ab, während der Widerstand der Widerstandsbereiche **Rz2** und **Rz3** zunimmt.

[0082] Wenn, im Gegensatz hierzu, die dritte äußere Magnetfeldkomponente in der -Z-Richtung des dritten Sensor-Koordinatensystems verläuft, nimmt, im Vergleich zu dem Zustand, in dem es keine dritte äußere Magnetfeldkomponente gibt, der Widerstand der Widerstandsbereiche **Rz1** und **Rz4** zu, während der Widerstand der Widerstandsbereiche **Rz2** und **Rz3** abnimmt.

[0083] Der Betrag der Änderung des Widerstands von jedem der Widerstandsbereiche **Rz1**, **Rz2**, **Rz3** und **Rz4** hängt von der Stärke der dritten äußeren Magnetfeldkomponente ab.

[0084] Änderungen der Richtung und der Stärke der dritten äußeren Magnetfeldkomponente bewirken eine Änderung des Widerstands der Widerstandsbereiche **Rz1**, **Rz2**, **Rz3** und **Rz4** derart, dass der Widerstand der Widerstandsbereiche **Rz1** und **Rz4** zunimmt, während der Widerstand des zweiten und des dritten Widerstandsbereichs **Rz2** und **Rz3** abnimmt, oder dass der Widerstand der Widerstandsbereiche **Rz1** und **Rz4** abnimmt, während der Widerstand der Widerstandsbereiche **Rz2** und **Rz3** zunimmt. Dies bewirkt eine Änderung einer Potentialdifferenz zwischen den Ausgangsanschlüssen **Vz+** und **Vz-**. Somit kann die dritte äußere Magnetfeldkomponente anhand der Potentialdifferenz erfasst werden. Der dritte Magnetsensor **30** erzeugt das dritte Erfassungssignal, das der Potentialdifferenz zwischen den Ausgangsanschlüssen **Vz+** und **Vz-** entspricht. Das dritte Erfassungssignal kann eines sein, das erhalten wird, indem die Amplitude oder der Versatz der Potentialdifferenz zwischen den Ausgangsanschlüssen **Vz+** und Vzreguliert wird.

[0085] Als Nächstes wird ein beispielhafter Aufbau des Sensorchips **4** beschrieben. **Fig. 9** ist eine Querschnittsansicht des Sensorchips **4**. Der Sensorchip **4** umfasst das Substrat **51**, das die obere Oberfläche **51a** und die untere Oberfläche **51b** sowie außerdem einen ersten Integrationsabschnitt **52** und einen zweiten Integrationsabschnitt **53** aufweist, die auf die obere Oberfläche **51a** des Substrats **51** gestapelt sind. Der erste Integrationsabschnitt **52** umfasst den Magnetfelderzeugungsbereich **70**. Der zweite Integrationsabschnitt **53** umfasst die ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30**. In **Fig. 3** und **Fig. 4** ist die Darstellung des ersten Integrationsabschnitts **52** weggelassen.

[0086] Der Magnetfelderzeugungsbereich **70** umfasst einen ersten Magnetfeldgenerator **71**, einen zweiten Magnetfeldgenerator **72** und einen dritten Magnetfeldgenerator **73**. Die ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren **71** bis **73** sind in **Fig. 11** bis **Fig. 13** dargestellt, die später beschrieben werden. Die ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren **71** bis **73** befinden sich in dem ersten Integrationsabschnitt **52** in voneinander verschiedenen Positionen in einer zur oberen Oberfläche **51a** des Substrats **51** senkrechten Richtung. Die ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** und die ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren **71** bis **73** sind in den Sensorchip **4** integriert. Die ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren **71** bis **73** werden später beschrieben.

[0087] **Fig. 10** zeigt einen Abschnitt von jedem der ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30**. In diesem Beispiel sind die ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** auf dem ersten Integrationsabschnitt **52** angeordnet. Der erste Integrationsabschnitt **52** hat eine obere Oberfläche **52a**. Die obere Oberfläche **52a** des ersten Integrationsabschnitts **52** weist eine Isolationseigenschaft auf.

[0088] Der erste Magnetsensor **10** umfasst zusätzlich zu den Widerstandsbereichen **Rx1**, **Rx2**, **Rx3** und **Rx4** Isolierschichten **66A**, **67A** und **68A**, die jeweils aus einem Isoliermaterial ausgebildet sind. Die Isolierschicht **66A** liegt auf der oberen Oberfläche **52a** des ersten Integrationsabschnitts **52**. Die Widerstandsbereiche **Rx1**, **Rx2**, **Rx3** und **Rx4** sind auf der Isolierschicht **66A** angeordnet. **Fig. 10** zeigt eines der Vielzahl von MR-Elementen **100**, die in den Widerstandsbereichen **Rx1**, **Rx2**, **Rx3** und **Rx4** enthalten sind, sowie außerdem die obere Verbindungsschicht **112** und die untere Verbindungsschicht **111**, die mit dem MR-Element **100** verbunden sind. Die Isolierschicht **67A** liegt auf der oberen Oberfläche der Isolierschicht **66A** und umgibt die Widerstandsbereiche **Rx1**, **Rx2**, **Rx3** und **Rx4**. Die Isolierschicht **68A** bedeckt die Widerstandsbereiche **Rx1**, **Rx2**, **Rx3** und **Rx4** sowie die Isolierschicht **67A**.

[0089] Der zweite Magnetsensor **20** ist dem ersten Magnetsensor **10** in struktureller Hinsicht ähnlich. Im Einzelnen umfasst der zweite Magnetsensor **20** zusätzlich zu den Widerstandsbereichen **Ry1**, **Ry2**, **Ry3** und **Ry4** Isolierschichten **66B**, **67B** und **68B**, die jeweils aus einem Isoliermaterial ausgebildet sind. Die Isolierschicht **66B** liegt auf der oberen Oberfläche **52a** des ersten Integrationsabschnitts **52**. Die Widerstandsbereiche **Ry1**, **Ry2**, **Ry3** und **Ry4** sind auf der Isolierschicht **66B** angeordnet. **Fig. 10** zeigt eines der Vielzahl von MR-Elementen **100**, die in den Widerstandsbereichen **Ry1**, **Ry2**, **Ry3** und **Ry4** enthalten sind, sowie außerdem die obere Verbindungsschicht **112** und die untere Verbindungsschicht **111**, die mit dem MR-Element **100** verbunden sind. Die Isolierschicht **67B** liegt auf der oberen Oberfläche der Isolierschicht **66B** und umgibt die Widerstandsbereiche **Ry1**, **Ry2**, **Ry3** und **Ry4**. Die Isolierschicht **68B** bedeckt die Widerstandsbereiche **Ry1**, **Ry2**, **Ry3** und **Ry4** sowie die Isolierschicht **67B**.

[0090] Der dritte Magnetsensor **30** umfasst zusätzlich zu den Widerstandsbereichen **Rz1**, **Rz2**, **Rz3** und **Rz4** und der weichmagnetischen Struktur **40** Isolierschichten **61**, **62**, **63** und **64**, die jeweils aus einem Isoliermaterial ausgebildet sind. In dem in **Fig. 10** dargestellten Beispiel umfasst die weichmagnetische Struktur **40** den Magnetfeldumwandlungsbereich **42** und zwei weichmagnetische Schichten **41** und **43**.

[0091] Der Magnetfeldumwandlungsbereich **42** umfasst die unteren Joche **42B1**, **42B2**, **42B3** und **42B4** sowie die oberen Joche **42T1**, **42T2**, **42T3** und **42T4**, die in **Fig. 8** dargestellt sind. In **Fig. 10** ist eines

der unteren Joche **42B1**, **42B2**, **42B3** und **42B4** mit dem Bezugszeichen **42B** bezeichnet, und ein entsprechendes der oberen Joche **42T1**, **42T2**, **42T3** und **42T4** ist mit dem Bezugszeichen **42T** bezeichnet.

[0092] Die weichmagnetische Schicht **41** liegt auf der oberen Oberfläche **52a** des ersten Integrationsabschnitts **52**. Die unteren Joche **42B1**, **42B2**, **42B3** und **42B4** sind auf der weichmagnetischen Schicht **41** angeordnet. Die Isolierschicht **61** liegt auf der weichmagnetischen Schicht **41** und umgibt die unteren Joche **42B1**, **42B2**, **42B3** und **42B4**.

[0093] Die Widerstandsbereiche **Rz1**, **Rz2**, **Rz3** und **Rz4** sind auf der Isolierschicht **61** angeordnet. **Fig. 10** zeigt eines der Vielzahl von MR-Elementen **100**, die in den Widerstandsbereichen **Rz1**, **Rz2**, **Rz3** und **Rz4** enthalten sind, sowie außerdem die obere Verbindungsschicht **112** und die untere Verbindungsschicht **111**, die mit dem MR-Element **100** verbunden sind. Die Isolierschicht **62** liegt auf den unteren Jochen **42B1**, **42B2**, **42B3** und **42B4** und der Isolierschicht **61** und umgibt die Widerstandsbereiche **Rz1**, **Rz2**, **Rz3** und **Rz4**.

[0094] Die oberen Joche **42T1**, **42T2**, **42T3** und **42T4** sind auf der Isolierschicht **62** angeordnet. Die Isolierschicht **63** liegt auf den Widerstandsbereichen **Rz1**, **Rz2**, **Rz3** und **Rz4** und der Isolierschicht **62** und umgibt die oberen Joche **42T1**, **42T2**, **42T3** und **42T4**.

[0095] Die weichmagnetische Schicht **43** liegt auf den oberen Jochen **42T1**, **42T2**, **42T3** und **42T4** und der Isolierschicht **63**. Die Isolierschicht **64** bedeckt die weichmagnetische Schicht **43**.

[0096] Von oben betrachtet, erstrecken sich die weichmagnetischen Schichten **41** und **43** über die gesamte Fläche oder fast die gesamte Fläche des dritten Magnetsensors **30**. Das heißt, dass sich sowohl eine Fläche, die durch senkrechte Projektion der weichmagnetischen Schicht **41** auf die Referenzebene **RP** gebildet wird, als auch eine Fläche, die durch senkrechte Projektion der weichmagnetischen Schicht **43** auf die Referenzebene **RP** gebildet wird, mit der dritten Fläche **A30** deckt oder fast deckt.

[0097] In dem in **Fig. 10** dargestellten Beispiel befinden sich alle magnetischen Erfassungselemente oder MR-Elemente **100**, die in den ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** enthalten sind, im gleichen Abstand von der oberen Oberfläche **52a** des ersten Integrationsabschnitts **52**. Bei der vorliegenden Ausführungsform ist die obere Oberfläche **52a** des ersten Integrationsabschnitts **52** parallel zur oberen Oberfläche **51a** des Substrats **51**. Alle MR-Elemente **100**, die in den ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** enthalten sind, befinden sich daher im gleichen Abstand von der oberen Oberfläche **51a** des Substrats **51**, d.h. der Referenzebene **RP**.

[0098] Der Magnetfeldumwandlungsbereich **42** kann nur entweder die unteren Joche **42B1**, **42B2**, **42B3** und **42B4** oder die oberen Joche **42T1**, **42T2**, **42T3** und **42T4** umfassen. Die weichmagnetische Struktur **40** kann nur eine der weichmagnetischen Schichten **41** und **43** umfassen.

[0099] Die ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren **71** bis **73** werden nun beschrieben. Die ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren **71** bis **73** liegen zwischen der oberen Oberfläche **51a** (siehe **Fig. 9**) des Substrats **51** und den ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30**.

[0100] Der erste Magnetfeldgenerator **71** wird zuerst mit Bezug auf **Fig. 11** beschrieben. **Fig. 11** ist eine erläuternde Darstellung, die den ersten Magnetfeldgenerator **71** schematisch veranschaulicht. Der erste Magnetfeldgenerator **71** kann ein erstes zusätzliches Magnetfeld erzeugen. Die ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** werden jeweils mit einer ersten zusätzlichen Magnetfeldkomponente beaufschlagt, wenn das erste zusätzliche Magnetfeld vom ersten Magnetfeldgenerator **71** erzeugt wird. Die erste zusätzliche Magnetfeldkomponente ist eine Komponente des ersten zusätzlichen Magnetfelds und verläuft in einer zu einer ersten Richtung parallelen Richtung. Bei der vorliegenden Ausführungsform stimmt insbesondere die erste Richtung mit der X-Richtung des Referenzkoordinatensystems überein.

[0101] Wie in **Fig. 11** dargestellt, umfasst der erste Magnetfeldgenerator **71** einen Spulenleiter **71a** und zwei Anschlüsse **71b** und **71c**, die an entgegengesetzte Enden des Spulenleiters **71a** angeschlossen sind. Die Anschlüsse **71b** und **71c** sind jeweils mit dem Ansteuerbereich **86** (siehe **Fig. 2**) des Korrekturprozessors **80** verbunden.

[0102] Der Spulenleiter **71a** umfasst eine Vielzahl von ersten Leiterabschnitten, die, von oben betrachtet, mindestens einen von den ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** überdecken und in einer zur Y-Richtung des Referenzkoordinatensystems parallelen Richtung verlaufen. Der Spulenleiter **71a** ist derart längs der XY-Ebene des Referenzkoordinatensystems gewickelt, dass dann, wenn ein Strom vom Anschluss **71b** zum Anschluss **71c** geschickt wird, die Richtung des durch jeden der Vielzahl von ersten Leiterabschnitten fließenden Stroms die Y-Richtung des Referenzkoordinatensystems wird.

[0103] Wird ein Strom in der Richtung vom Anschluss **71b** zum Anschluss **71c** geschickt, wird die Richtung des durch jeden der Vielzahl von ersten Leiterabschnitten fließenden Stroms die Y-Richtung des Referenzkoordinatensystems, und die Richtung der

ersten zusätzlichen Magnetfeldkomponente wird die X-Richtung des Referenzkoordinatensystems. Wird die Richtung des Stroms im vorstehenden Beispiel umgekehrt, wird die Richtung der ersten zusätzlichen Magnetfeldkomponente die -X-Richtung des Referenzkoordinatensystems.

[0104] Als Nächstes wird der zweite Magnetfeldgenerator **72** mit Bezug auf **Fig. 12** beschrieben. **Fig. 12** ist eine erläuternde Darstellung, die den zweiten Magnetfeldgenerator **72** schematisch veranschaulicht. Der zweite Magnetfeldgenerator **72** kann ein zweites zusätzliches Magnetfeld erzeugen. Die ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** werden jeweils mit einer zweiten zusätzlichen Magnetfeldkomponente beaufschlagt, wenn das zweite zusätzliche Magnetfeld vom zweiten Magnetfeldgenerator **72** erzeugt wird. Die zweite zusätzliche Magnetfeldkomponente ist eine Komponente des zweiten zusätzlichen Magnetfelds und verläuft in einer zu einer zweiten Richtung parallelen Richtung. Bei der vorliegenden Ausführungsform stimmt insbesondere die zweite Richtung mit der Y-Richtung des Referenzkoordinatensystems überein.

[0105] Wie in **Fig. 12** dargestellt, umfasst der zweite Magnetfeldgenerator **72** einen Spulenleiter **72a** und zwei Anschlüsse **72b** und **72c**, die an entgegengesetzte Enden des Spulenleiters **72a** angeschlossen sind. Die Anschlüsse **72b** und **72c** sind jeweils mit dem Ansteuerbereich **86** (siehe **Fig. 2**) des Korrekturprozessors **80** verbunden.

[0106] Der Spulenleiter **72a** umfasst eine Vielzahl von zweiten Leiterabschnitten, die, von oben betrachtet, mindestens einen von den ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** überdecken und in einer zur X-Richtung des Referenzkoordinatensystems parallelen Richtung verlaufen. Der Spulenleiter **72a** ist derart längs der XY-Ebene des Referenzkoordinatensystems gewickelt, dass dann, wenn ein Strom vom Anschluss **72b** zum Anschluss **72c** geschickt wird, die Richtung des durch jeden der Vielzahl von zweiten Leiterabschnitten fließenden Stroms die -X-Richtung des Referenzkoordinatensystems wird.

[0107] Wird ein Strom in der Richtung vom Anschluss **72b** zum Anschluss **72c** geschickt, wird die Richtung des durch jeden der Vielzahl von zweiten Leiterabschnitten fließenden Stroms die -X-Richtung des Referenzkoordinatensystems, und die Richtung der zweiten zusätzlichen Magnetfeldkomponente wird die Y-Richtung des Referenzkoordinatensystems. Wird die Richtung des Stroms im vorstehenden Beispiel umgekehrt, wird die Richtung der zweiten zusätzlichen Magnetfeldkomponente die -Y-Richtung des Referenzkoordinatensystems.

[0108] Als Nächstes wird der dritte Magnetfeldgenerator **73** mit Bezug auf **Fig. 13** beschrieben. **Fig. 13** ist eine erläuternde Darstellung, die den dritten Magnetfeldgenerator **73** schematisch veranschaulicht. Der dritte Magnetfeldgenerator **73** kann ein drittes zusätzliches Magnetfeld erzeugen. Die ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** werden jeweils mit einer dritten zusätzlichen Magnetfeldkomponente beaufschlagt, wenn das dritte zusätzliche Magnetfeld vom dritten Magnetfeldgenerator **73** erzeugt wird. Die dritte zusätzliche Magnetfeldkomponente ist eine Komponente des dritten zusätzlichen Magnetfelds und verläuft in einer zu einer dritten Richtung parallelen Richtung. Bei der vorliegenden Ausführungsform stimmt insbesondere die dritte Richtung mit der Z-Richtung des Referenzkoordinatensystems überein.

[0109] Wie in **Fig. 13** dargestellt, umfasst der dritte Magnetfeldgenerator **73** einen Spulenleiter **73a** und zwei Anschlüsse **73b** und **73c**, die an entgegengesetzte Enden des Spulenleiters **73a** angeschlossen sind. Die Anschlüsse **73b** und **73c** sind jeweils mit dem Ansteuerbereich **86** (siehe **Fig. 2**) des Korrekturprozessors **80** verbunden.

[0110] Der Spulenleiter **73a** ist derart in einer Vielzahl von Windungen mit einer Flachspiralenform längs der XY-Ebene des Referenzkoordinatensystems gewickelt, dass er, von oben betrachtet, entgegen dem Uhrzeigersinn vom Anschluss **73b** zum Anschluss **73c** gewickelt ist. Von oben betrachtet umgibt der Spulenleiter **73a** die ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30**. Der Spulenleiter **73a** hat insgesamt eine quadratische oder fast quadratische Form.

[0111] Wird ein Strom in der Richtung vom Anschluss **73b** zum Anschluss **73c** geschickt, wird die Richtung der dritten zusätzlichen Magnetfeldkomponente, die an jeden der ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** angelegt ist, die Z-Richtung des Referenzkoordinatensystems. Wird die Richtung des Stroms im vorstehenden Beispiel umgekehrt, wird die Richtung der dritten zusätzlichen Magnetfeldkomponente die -Z-Richtung des Referenzkoordinatensystems.

[0112] Nun wird auf **Fig. 2** Bezug genommen, um die Wirkungsweise des Korrekturverarbeitungsbereichs **84** des Korrekturprozessors **80** zu beschreiben. Zu Anfang wird ein Überblick über die Korrekturverarbeitung dargelegt, die der Korrekturverarbeitungsbereich **84** durchführen muss.

[0113] Hier wird ein idealer Zustand durch die folgenden ersten bis dritten Anforderungen definiert. Die erste Anforderung besteht darin, dass die erste Detektionsrichtung mit einer zur ersten Richtung parallelen Richtung übereinstimmen muss, die zweite Detektionsrichtung mit einer zur zweiten Richtung parallelen Richtung übereinstimmen muss und die dritte Detektionsrichtung mit einer zur dritten Richtung parallelen Richtung übereinstimmen muss.

[0114] Die zweite Anforderung besteht darin, dass das Verhältnis einer Änderung des ersten Erfassungssignals zu einer Änderung der ersten äußeren Magnetfeldkomponente, das Verhältnis einer Änderung des zweiten Erfassungssignals zu einer Änderung der zweiten äußeren Magnetfeldkomponente und das Verhältnis einer Änderung des dritten Erfassungssignals zu einer Änderung der dritten äußeren Magnetfeldkomponente gleich sein müssen.

[0115] Die dritte Anforderung besteht darin, dass das Verhältnis einer Änderung des zweiten Erfassungssignals zu einer Änderung der ersten äußeren Magnetfeldkomponente, das Verhältnis einer Änderung des dritten Erfassungssignals zu einer Änderung der ersten äußeren Magnetfeldkomponente, das Verhältnis einer Änderung des ersten Erfassungssignals zu einer Änderung der zweiten äußeren Magnetfeldkomponente, das Verhältnis einer Änderung des dritten Erfassungssignals zu einer Änderung der zweiten äußeren Magnetfeldkomponente, das Verhältnis einer Änderung des ersten Erfassungssignals zu einer Änderung der dritten äußeren Magnetfeldkomponente und das Verhältnis einer Änderung des zweiten Erfassungssignals zu einer Änderung der dritten äußeren Magnetfeldkomponente sämtlich Null betragen müssen.

[0116] Das erste Erfassungssignal im idealen Zustand wird als erstes ideales Signal bezeichnet. Das zweite Erfassungssignal im idealen Zustand wird als zweites ideales Signal bezeichnet. Das dritte Erfassungssignal im idealen Zustand wird als drittes ideales Signal bezeichnet. Die Korrekturverarbeitung ist eine Verarbeitung, um die ersten bis dritten Erfassungssignale zu korrigieren und hierdurch die ersten bis dritten korrigierten Signale derart zu erzeugen, dass die ersten bis dritten korrigierten Signale im Vergleich zu den ersten bis dritten Erfassungssignalen vor der Korrektur näher bei den ersten bis dritten idealen Signalen liegen.

[0117] Unten werden Einzelheiten der Korrekturverarbeitung beschrieben. In der folgenden Beschreibung werden das erste Erfassungssignal mit dem Kurzzeichen Sx, das zweite Erfassungssignal mit dem Kurzzeichen Sy und das dritte Erfassungssignal mit dem Kurzzeichen Sz bezeichnet. Das erste korrigierte Signal wird mit dem Kurzzeichen CSx, das zweite korrigierte Signal mit dem Kurzzeichen CSy und das dritte korrigierte Signal mit dem Kurzzeichen CSz bezeichnet. Die ersten bis dritten korrigierten Signale CSz, CSy und CSz werden jeweils mit den folgenden Gleichungen (1) bis (3) dargestellt.

$$CSx = C_{11}Sx + C_{12}Sy + C_{13}Sz \qquad (1)$$

$$CSy = C_{21}Sx + C_{22}Sy + C_{23}Sz \qquad (2)$$

$$CSz = C_{31}Sx + C_{32}Sy + C_{33}Sz \qquad (3)$$

[0118] In den Gleichungen (1) bis (3) steht jedes von C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{21}, C_{22}, C_{23}, C_{31}, C_{32} und C_{33} für einen Korrekturfaktor. Die Gleichungen (1) bis (3) stellen die Korrekturfunktionen bei der vorliegenden Ausführungsform dar.

[0119] Eine 3 × 3 Matrix mit den Korrekturfaktoren C_{ij} als ihren Elementen (i, j) wird als Korrekturfaktormatrix MC bezeichnet, wobei jedes von i und j eine Ganzzahl größer oder gleich 1 und nicht größer als 3 ist. Ein Spaltenvektor, der die ersten bis dritten Erfassungssignale Sx, Sy und Sz als seine Elemente umfasst, wird als Erfassungssignalvektor VS bezeichnet. Ein Spaltenvektor, der die ersten bis dritten korrigierten Signale CSx, CSy und CSz als seine Elemente umfasst, wird als korrigierter Signalvektor VCS bezeichnet. Die Korrekturfunktionen werden mit der nachstehenden Gl. (4) unter Verwendung von MC, VS und VCS dargestellt.

$$VCS = MC * VS \qquad (4)$$

[0120] In Gl. (4) gilt: VS = $[Sx, Sy, Sz]^T$ und VCS = $[CSx, CSy, CSz]^T$.

[0121] Der Korrekturverarbeitungsbereich **84** führt die Korrekturverarbeitung unter Verwendung der ersten bis dritten Erfassungssignale Sx, Sy und Sz, die von den A/D-Wandlern **81** bis **83** in eine digitale Form umgewandelt werden, und der mit den Gleichungen (1) bis (3) oder Gl. (4) dargestellten Korrekturfunktionen durch. Der Korrekturverarbeitungsbereich **84** gibt die durch die Korrekturverarbeitung erzeugten ersten bis dritten korrigierten Signale CSx, CSy und CSz an den Hostprozessor **200** aus.

[0122] Als Nächstes werden die Wirkungsweisen des Korrekturfunktion-Bestimmungsbereichs **85**, des Ansteuerbereichs **86** und des Steuerbereichs **87** des Korrekturprozessors **80** beschrieben. Wie zuvor erwähnt, steuert der Steuerbereich **87** den Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** und den Ansteuerbereich **86** derart, dass die Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung durchgeführt wird.

[0123] Zu Anfang wird ein Überblick über die Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung mit Bezug auf **Fig. 14** gegeben. **Fig. 14** ist ein Flussdiagramm der Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung. Bei der Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung steuert als Erstes, in Schritt **S11**, der Ansteuerbereich **86** den ersten Magnetfeldgenerator **71**, um das erste zusätzliche Magnetfeld zu erzeugen und das erste zusätzliche Magnetfeld zu ändern. Der Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** erhält dann erste bis dritte Daten, die jeweilige Änderungen der ersten bis dritten Erfassungssignale Sx, Sy und Sz betreffen, wenn das

erste zusätzliche Magnetfeld dementsprechend geändert wird. Beispielsweise kann das erste zusätzliche Magnetfeld derart geändert werden, dass die erste zusätzliche Magnetfeldkomponente in der X-Richtung und die in der -X-Richtung zu unterschiedlichen Zeiten an jeden von den ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** angelegt werden.

[0124] Als Nächstes, in Schritt **S12**, steuert der Ansteuerbereich **86** den zweiten Magnetfeldgenerator **72**, um das zweite zusätzliche Magnetfeld zu erzeugen und das zweite zusätzliche Magnetfeld zu ändern. Der Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** erhält dann vierte bis sechste Daten, die jeweilige Änderungen der ersten bis dritten Erfassungssignale Sx, Sy und Sz betreffen, wenn das zweite zusätzliche Magnetfeld dementsprechend geändert wird. Beispielsweise kann das zweite zusätzliche Magnetfeld derart geändert werden, dass die zweite zusätzliche Magnetfeldkomponente in der Y-Richtung und die in der -Y-Richtung zu unterschiedlichen Zeiten an jeden von den ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** angelegt werden.

[0125] Als Nächstes, in Schritt **S13**, steuert der Ansteuerbereich **86** den dritten Magnetfeldgenerator **73**, um das dritte zusätzliche Magnetfeld zu erzeugen und das dritte zusätzliche Magnetfeld zu ändern. Der Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** erhält dann siebte bis neunte Daten, die jeweilige Änderungen der ersten bis dritten Erfassungssignale Sx, Sy und Sz betreffen, wenn das dritte zusätzliche Magnetfeld dementsprechend geändert wird. Beispielsweise kann das dritte zusätzliche Magnetfeld derart geändert werden, dass die dritte zusätzliche Magnetfeldkomponente in der Z-Richtung und die in der -Z-Richtung zu unterschiedlichen Zeiten an jeden von den ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** angelegt werden.

[0126] Dann, in Schritt **S14**, bestimmt der Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** die Korrekturfunktionen anhand der erhaltenen ersten bis neunten Daten.

[0127] Der Betrag der Änderung der ersten zusätzlichen Magnetfeldkomponente, die an jeden von den ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** angelegt ist, wenn das erste zusätzliche Magnetfeld in Schritt **S11** geändert wird, wird mit dem Kurzzeichen dHx bezeichnet. Der Betrag der Änderung der zweiten zusätzlichen Magnetfeldkomponente, die an jeden von den ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** angelegt ist, wenn das zweite zusätzliche Magnetfeld in Schritt **S12** geändert wird, wird mit dem Kurzzeichen dHy bezeichnet. Der Betrag der Änderung der dritten zusätzlichen Magnetfeldkomponente, die an jeden von den ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** angelegt ist, wenn das dritte zusätzliche Magnetfeld in Schritt **S13** geändert wird, wird mit dem Kurzzeichen dHz bezeichnet.

[0128] Der Betrag der Änderung des ersten Erfassungssignals Sx, wenn das erste zusätzliche Magnetfeld in Schritt **S11** geändert wird, wird als erster Signaländerungsbetrag bezeichnet und mit dem Kurzzeichen dSxhx versehen. Der Betrag der Änderung des zweiten Erfassungssignals Sy, wenn das erste zusätzliche Magnetfeld in Schritt **S11** geändert wird, wird als zweiter Signaländerungsbetrag bezeichnet und mit dem Kurzzeichen dSyhx versehen. Der Betrag der Änderung des dritten Erfassungssignals Sz, wenn das erste zusätzliche Magnetfeld in Schritt **S11** geändert wird, wird als dritter Signaländerungsbetrag bezeichnet und mit dem Kurzzeichen dSzhx versehen. Die ersten bis dritten Signaländerungsbeträge dSxhx, dSyhx und dSzhx entsprechen jeweils den ersten bis dritten Daten.

[0129] Der Betrag der Änderung des ersten Erfassungssignals Sx, wenn das zweite zusätzliche Magnetfeld in Schritt **S12** geändert wird, wird als vierter Signaländerungsbetrag bezeichnet und mit dem Kurzzeichen dSxhy versehen. Der Betrag der Änderung des zweiten Erfassungssignals Sy, wenn das zweite zusätzliche Magnetfeld in Schritt **S12** geändert wird, wird als fünfter Signaländerungsbetrag bezeichnet und mit dem Kurzzeichen dSyhy versehen. Der Betrag der Änderung des dritten Erfassungssignals Sz, wenn das zweite zusätzliche Magnetfeld in Schritt **S12** geändert wird, wird als sechster Signaländerungsbetrag bezeichnet und mit dem Kurzzeichen dSzhy versehen. Die vierten bis sechsten Signaländerungsbeträge dSxhy, dSyhy und dSzhy entsprechen jeweils den vierten bis sechsten Daten.

[0130] Der Betrag der Änderung des ersten Erfassungssignals Sx, wenn das dritte zusätzliche Magnetfeld in Schritt **S13** geändert wird, wird als siebter Signaländerungsbetrag bezeichnet und mit dem Kurzzeichen dSxhz versehen. Der Betrag der Änderung des zweiten Erfassungssignals Sy, wenn das dritte zusätzliche Magnetfeld in Schritt **S13** geändert wird, wird als achter Signaländerungsbetrag bezeichnet und mit dem Kurzzeichen dSyhz versehen. Der Betrag der Änderung des dritten Erfassungssignals Sz, wenn das dritte zusätzliche Magnetfeld in Schritt **S13** geändert wird, wird als neunter Signaländerungsbetrag bezeichnet und mit dem Kurzzeichen dSzhz versehen. Die siebten bis neunten Signaländerungsbeträge dSxhz, dSyhz und dSzhz entsprechen jeweils den siebten bis neunten Daten.

[0131] Eine zur ersten Richtung parallele Richtung wird als erste Hauptachsenrichtung bezeichnet. Das Verhältnis einer Änderung des ersten Erfassungssignals Sx zu einer Änderung der Stärke eines Magnetfelds in der ersten Hauptachsenrichtung wird als erste Hauptachsenempfindlichkeit bezeichnet und mit

dem Kurzzeichen SSxhx versehen. Eine zur zweiten Richtung parallele Richtung wird als zweite Hauptachsenrichtung bezeichnet. Das Verhältnis einer Änderung des zweiten Erfassungssignals Sy zu einer Änderung der Stärke eines Magnetfelds in der zweiten Hauptachsenrichtung wird als zweite Hauptachsenempfindlichkeit bezeichnet und mit dem Kurzzeichen SSyhy versehen. Eine zur dritten Richtung parallele Richtung wird als dritte Hauptachsenrichtung bezeichnet. Das Verhältnis einer Änderung des dritten Erfassungssignals Sz zu einer Änderung der Stärke eines Magnetfelds in der dritten Hauptachsenrichtung wird als dritte Hauptachsenempfindlichkeit bezeichnet und mit dem Kurzzeichen SSzhz versehen.

[0132] Das Verhältnis einer Änderung des zweiten Erfassungssignals Sy zu einer Änderung der Stärke des Magnetfelds in der ersten Hauptachsenrichtung wird als erste Querachsenempfindlichkeit bezeichnet und mit dem Kurzzeichen SSyhx versehen. Das Verhältnis einer Änderung des dritten Erfassungssignals Sz zu einer Änderung der Stärke des Magnetfelds in der ersten Hauptachsenrichtung wird als zweite Querachsenempfindlichkeit bezeichnet und mit dem Kurzzeichen SSzhx versehen. Das Verhältnis einer Änderung des ersten Erfassungssignals Sx zu einer Änderung der Stärke des Magnetfelds in der zweiten Hauptachsenrichtung wird als dritte Querachsenempfindlichkeit bezeichnet und mit dem Kurzzeichen SSxhy versehen. Das Verhältnis einer Änderung des dritten Erfassungssignals Sz zu einer Änderung der Stärke des Magnetfelds in der zweiten Hauptachsenrichtung wird als vierte Querachsenempfindlichkeit bezeichnet und mit dem Kurzzeichen SSzhy versehen. Das Verhältnis einer Änderung des ersten Erfassungssignals Sx zu einer Änderung der Stärke des Magnetfelds in der dritten Hauptachsenrichtung wird als fünfte Querachsenempfindlichkeit bezeichnet und mit dem Kurzzeichen SSxhz versehen. Das Verhältnis einer Änderung des zweiten Erfassungssignals Sy zu einer Änderung der Stärke des Magnetfelds in der dritten Hauptachsenrichtung wird als sechste Querachsenempfindlichkeit bezeichnet und mit dem Kurzzeichen SSyhz versehen.

[0133] Die ersten bis dritten Signaländerungsbeträge dSxhx, dSyhx und dSzhx, d.h. die ersten bis dritten Daten, werden mit der nachstehenden Gl. (5) dargestellt.

$$\begin{pmatrix} dSxhx \\ dSyhx \\ dSzhx \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} SSxhx & SSxhy & SSxhz \\ SSyhx & SSyhy & SSyhz \\ SSzhx & SSzhy & SSzhz \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dHx \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

[0134] Die vierten bis sechsten Signaländerungsbeträge dSxhy, dSyhy und dSzhy, d.h. die vierten bis sechsten Daten, werden mit der nachstehenden Gl. (6) dargestellt.

$$\begin{pmatrix} dSxhy \\ dSyhy \\ dSzhy \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} SSxhx & SSxhy & SSxhz \\ SSyhx & SSyhy & SSyhz \\ SSzhx & SSzhy & SSzhz \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ dHy \\ 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

[0135] Die siebten bis neuen Signaländerungsbeträge dSxhz, dSyhz und dSzhz, d.h. die siebten bis neunten Daten, werden mit der nachstehenden Gl. (7) dargestellt.

$$\begin{pmatrix} dSxhz \\ dSyhz \\ dSzhz \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} SSxhx & SSxhy & SSxhz \\ SSyhx & SSyhy & SSyhz \\ SSzhx & SSzhy & SSzhz \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ dHz \end{pmatrix} \quad (7)$$

[0136] Die 3 × 3 Matrix auf der rechten Seite von jeder der Gleichungen (5) bis (7) wird im Folgenden als Empfindlichkeitsmatrix bezeichnet und mit dem Kurzzeichen MSS versehen.

[0137] Als Nächstes wird im Einzelnen beschrieben, wie die Korrekturfunktionen in Schritt **S14** zu bestimmen sind. Der Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** berechnet zuerst die Empfindlichkeiten SSxhx, SSyhx, SSzhx, SSxhy, SSyhy, SSzhy, SSxhz, SSyhz und SSzhz auf der Grundlage der ersten bis neunten Daten, d.h. der vierten bis neunten Signaländerungsbeträge dSxhx, dSyhx, dSzhx, dSxhy, dSyhy, dSzhy, dSxhz, dSyhz und dSzhz, des Änderungsbetrags dHx der ersten zusätzlichen Magnetfeldkomponente, des Änderungsbetrags dHy der zweiten zusätzlichen Magnetfeldkomponente und des Änderungsbetrags dHz der dritten zusätzlichen Magnetfeldkomponente.

[0138] Aus Gl. (5), SSxhx = dSxhx/dHx. SSyhx = dSyhx/dHx. SSzhx = dSzhx/dHx. Aus Gl. (6), SSxhy = dSxhy/dHy. SSyhy = dSyhy/dHy. SSzhy = dSzhy/dHy. Aus Gl. (7), SSxhz = dSxhz/dHz. SSyhz = dSyhz/dHz. SSzhz = dSzhz/dHz.

[0139] Der Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** bestimmt dann die Korrekturfaktormatrix MC unter Verwendung der berechneten Empfindlichkeiten SSxhx, SSyhx, SSzhx, SSxhy, SSyhy, SSzhy, SSxhz, SSyhz und SSzhz. Hier werden ein erstes Beispiel und ein zweites Beispiel der Korrekturfaktormatrix MC beschrieben. Im ersten Beispiel ist die Korrekturfaktormatrix MC eine Kehrmatrix MSS^{-1} der Empfindlichkeitsmatrix MSS.

[0140] Im zweiten Beispiel ist die Korrekturfaktormatrix MC eine Matrix, die Näherungswerte der Elemente (i, j) der Kehrmatrix MSS^{-1} als ihre Elemente (i, j) enthält. Beispielsweise wird die Korrekturfaktormatrix MC des zweiten Beispiels mit der nachstehenden Gl. (8) dargestellt. In diesem Beispiel wird zur Bestimmung der Näherungswerte der Elemente (i,

j) der Kehrmatrix MSS^{-1} die Tatsache genutzt, dass die ersten bis dritten Hauptachsenempfindlichkeiten SSxhx, SSyhy und SSzhz eng beieinanderliegende Werte haben und dass die ersten bis sechsten Querachsenempfindlichkeiten Werte nahe Null haben.

$$MC = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{SSxhx} & -SSxhy & -SSxhzz \\ -SSyhx & \frac{1}{SSyhy} & -SSyhz \\ -SSzhx & -SSzhy & \frac{1}{SSzhz} \end{pmatrix} \quad (8)$$

[0141] Der Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** bestimmt dann die Korrekturfunktionen anhand der bestimmten Korrekturfaktormatrix MC. Wie oben beschrieben, werden die Korrekturfunktionen mit den Gleichungen (1) bis (3) oder Gl. (4) dargestellt.

[0142] Beispielsweise kann die Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung ausgeführt werden, wenn mindestens eine der folgenden ersten bis dritten Aktivierungsanforderungen erfüllt ist.

[0143] Die erste Aktivierungsanforderung besteht darin, dass seit der letzten Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung ein vorgegebener Zeitraum verstrichen sein muss. Der Korrekturprozessor **80** kann einen Timer (nicht dargestellt) umfassen, um dem Steuerbereich **87** zu melden, dass der vorgegebene Zeitraum verstrichen ist.

[0144] Die zweite Aktivierungsanforderung besteht darin, dass eines der ersten bis dritten Erfassungssignale Sx, Sy und Sz einen Wert in einem nichtlinearen Bereich haben muss. Nun werden lineare und nichtlineare Bereich unter Verwendung des ersten Erfassungssignals Sx als Beispiel beschrieben. In einem Diagramm, das eine Beziehung zwischen der ersten äußeren Magnetfeldkomponente und dem ersten Erfassungssignal Sx darstellt, wird ein Punkt, an dem die Stärke der ersten äußeren Magnetfeldkomponente 0 entspricht, als Ursprungspunkt bezeichnet. Der Bereich des ersten Erfassungssignals Sx umfasst einen linearen Bereich sowie einen ersten und einen zweiten nichtlinearen Bereich. Der lineare Bereich ist ein Bereich, der den Ursprungspunkt enthält. In dem linearen Bereich ist das Verhältnis einer Änderung des ersten Erfassungssignals Sx zu einer Änderung der ersten äußeren Magnetfeldkomponente, d.h. die erste Hauptachsenempfindlichkeit SSxhx, konstant oder fast konstant. Der erste und der zweite nichtlineare Bereich sind Bereiche, in denen sich die erste Hauptachsenempfindlichkeit SSxhx von derjenigen im linearen Bereich unterscheidet. Der erste und der zweite nichtlineare Bereich liegen auf beiden Seiten des linearen Bereichs. Der lineare Bereich und der erste und der zweite nichtlineare Bereich werden im Voraus bestimmt. Die erste Hauptachsenempfindlichkeit SSxhx in jedem von dem ersten und dem zweiten nichtlinearen Bereich kann sich ändern, wenn sich die erste äußere Magnetfeldkomponente ändert.

[0145] Ebenso umfassen die Bereiche des zweiten und des dritten Erfassungssignals Sy und Sz jeweils einen linearen Bereich sowie einen ersten und einen zweiten nichtlinearen Bereich. Der Korrekturprozessor **80** kann einen Bestimmungsbereich umfassen, um zu bestimmen, ob eines von den ersten bis dritten Erfassungssignalen Sx, Sy und Sz einen Wert in dem ersten oder zweiten nichtlinearen Bereich hat. Wenn eines von den ersten bis dritten Erfassungssignalen Sx, Sy und Sz einen Wert in dem ersten oder zweiten nichtlinearen Bereich hat, ist die zweite Aktivierungsanforderung erfüllt. In einem solchen Fall gibt der Bestimmungsbereich ein Meldesignal an den Steuerbereich **87** aus.

[0146] Die dritte Aktivierungsanforderung besteht darin, dass eines der ersten bis dritten Erfassungssignale Sx, Sy und Sz einen Wert außerhalb eines im Voraus festgelegten Nutzungsbereichs haben muss. Ein Beispiel für den Nutzungsbereich ist der Bereich von normalen Eingangssignalen in die A/D-Wandler **81**, **82** und **83**. In diesem Beispiel ist die dritte Aktivierungsanforderung erfüllt, wenn die Eingabe eines Signals außerhalb des Nutzungsbereichs in einen der A/D-Wandler **81**, **82** und **83** erkannt wird. In einem solchen Fall gibt der A/D-Wandler **81**, **82** oder **83** ein Meldesignal an den Steuerbereich **87** aus.

[0147] Als Nächstes wird ein Ausgestaltungsbeispiel des in **Fig. 2** dargestellten Hostprozessors **200** mit Bezug auf **Fig. 15** beschrieben. Beispielsweise wird der Hostprozessor **200** von einem Mikrocomputer gebildet. **Fig. 15** zeigt ein Beispiel der Ausgestaltung des Hostprozessors **200** für den Fall, in dem die Magnetsensorvorrichtung **1** als geomagnetische Sensorvorrichtung verwendet wird. In dem in **Fig. 15** dargestellten Beispiel umfasst der Hostprozessor **200** einen Versatzkorrekturbereich **201**, einen Kugelberechnungsbereich **202** einen Azimutberechnungsbereich **203**. Der Versatzkorrekturbereich **201**, der Kugelberechnungsbereich **202** und der Azimutberechnungsbereich **203** sind Funktionsblöcke für die Durchführung der folgenden Verarbeitung.

[0148] Der Versatzkorrekturbereich **201** empfängt die ersten bis dritten korrigierten Signale CSx, CSy und CSz, die durch die Korrekturverarbeitung im Korrekturverarbeitungsbereich **84** (**Fig. 2**) des Korrekturprozessors **80** erzeugt werden. Wenn bei den ersten bis dritten Erfassungssignalen Sx, Sy und Sz aufgrund von anderen Faktoren als dem zu erfassenden Magnetfeld, d.h. dem Erdmagnetismus, ein Versatz auftritt, führt der Versatzkorrekturbereich **201** eine Versatzkorrekturverarbeitung an den ersten bis

dritten korrigierten Signalen CSx, CSy und CSz aus, um die Wirkung des Versatzes zu beseitigen.

[0149] Hier wird von einem orthogonalen Koordinatensystem, das durch zueinander orthogonale X-, Y- und Z-Achsen definiert ist, ausgegangen und ein Punkt unter Verwendung der ersten bis dritten korrigierten Signale CSx, CSy und CSz, die einem Satz von ersten bis dritten Erfassungssignalen Sx, Sy und Sz zu einem Zeitpunkt entsprechen, als die Koordinaten X, Y beziehungsweise Z definiert. Ein solcher Punkt wird als Messpunkt bezeichnet. Wenn eine Vielzahl von Messpunkten aufgenommen wird, wobei Ausrichtung und Position der elektronischen Vorrichtung, in die die Magnetsensorvorrichtung **1** eingebaut ist, zufällig geändert werden, und die Messpunkte auf das vorstehende orthogonale Koordinatensystem aufgetragen werden, dann sind die Messpunkte über die sphärische Oberfläche einer gedachten Kugel mit einem Punkt (cx, cy, cz) als ihrem Mittelpunkt verteilt. Der Radius der gedachten Kugel weist eine Entsprechung zur Größenordnung des Erdmagnetismus auf. Der Mittelpunkt der gedachten Kugel stellt einen Versatz dar, der auf einen anderen Faktor als den Erdmagnetismus zurückzuführen ist. Ein Beispiel der Versatzkorrekturverarbeitung kann eine Verarbeitung zum Umwandeln des Messpunkts (CSx, CSy, CSz) in einen Punkt (CSx-cx, CSy-cy, CSz-cz) derart sein, dass die Koordinaten des Mittelpunkts auf den Ursprungspunkt (0, 0, 0) des orthogonalen Koordinatensystems fallen.

[0150] Insbesondere erzeugt der Versatzkorrekturbereich **201** eine Differenz zwischen dem ersten korrigierten Signal CSx und cx als ein viertes korrigiertes Signal, eine Differenz zwischen dem zweiten korrigierten Signal CSy und cy als ein fünftes korrigiertes Signal und eine Differenz zwischen dem dritten korrigierten Signal CSz und cz als ein sechstes korrigiertes Signal. Der Versatzkorrekturbereich **201** gibt die erzeugen vierten bis sechsten korrigierten Signale an den Azimutberechnungsbereich **203** aus.

[0151] Der Kugelberechnungsbereich **202** berechnet den Mittelpunkt (cx, cy, cz) anhand der Vielzahl von Messpunkten (CSx, CSy, CSz). Der Kugelberechnungsbereich **202** gibt die berechneten Werte von cx, cy und cz an den Versatzkorrekturbereich **201** aus.

[0152] Der Azimutberechnungsbereich **203** berechnet anhand der vierten bis sechsten korrigierten Signale einen Azimut. Wenn die elektronische Vorrichtung, in die die Magnetsensorvorrichtung **1** eingebaut ist, beispielsweise eine Vorrichtung ist, die stets eine derartige Ausrichtung beibehält, dass die -Z-Richtung des Referenzkoordinatensystems mit der Richtung der Erdbeschleunigung übereinstimmt, dann kann der Azimutberechnungsbereich **203** den Azimut unter Verwendung nur des vierten und des fünften korrigierten Signals berechnen.

[0153] Wenn die elektronische Vorrichtung, in die die Magnetsensorvorrichtung **1** eingebaut ist, beispielsweise eine solche Vorrichtung ist, dass die -Z-Richtung des Referenzkoordinatensystems einen sich ändernden Neigungswinkel zur Richtung der Erdbeschleunigung bilden kann, dann kann der Azimutberechnungsbereich **203** den Azimut unter Verwendung der vierten bis sechsten korrigierten Signale und von Messinformationen von einem Beschleunigungssensor **210**, wie in **Fig. 15** dargestellt, berechnen. Der Beschleunigungssensor **210** ist ein Sensor für die Beschleunigungsmessung in drei zueinander orthogonalen Richtungen und er ist in die elektronische Vorrichtung eingebaut. Die Messinformationen vom Beschleunigungssensor **210** umfassen Messwerte der Beschleunigung in den drei zueinander orthogonalen Richtungen.

[0154] Nun wird die Wirkung der Magnetsensorvorrichtung **1** gemäß der vorliegenden Ausführungsform beschrieben. Bei der Magnetsensorvorrichtung **1** gemäß der vorliegenden Ausführungsform sind die ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren **71** bis **73**, die zu Messungen der Haupt- und Querachsenempfindlichkeiten der ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** verwendet werden, mit den ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** integriert. Gemäß der vorliegenden Ausführungsform ist es somit möglich, Messungen der Haupt- und Querachsenempfindlichkeiten der ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** durchzuführen und die ersten bis dritten Erfassungssignale Sx, Sy und Sz ungeachtet der Verwendungsumgebung der Magnetsensorvorrichtung **1** auf der Grundlage der Messergebnisse in einfacher Weise zu korrigieren.

[0155] Bei der vorliegenden Ausführungsform ist der Korrekturprozessor **80** mit den ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** und den ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren **71** bis **73** integriert. Gemäß der vorliegenden Ausführungsform kann daher die Magnetsensorvorrichtung **1** in der Form eines einzigen elektronischen Bauelements die vorgenannten Messungen der Haupt- und Querachsenempfindlichkeiten und Korrekturen der ersten bis dritten Erfassungssignale Sx, Sy und Sz auf der Grundlage der Messergebnisse durchführen.

[0156] Wenn die ersten bis dritten korrigierten Signale CSx, CSy und CSz erzeugt werden, indem die ersten bis dritten Erfassungssignale Sx, Sy und Sz durch die Korrekturverarbeitung korrigiert werden, kann bei den ersten bis dritten korrigierten Signalen CSx, CSy und CSz aus einem Grund wie etwa einer Nichtlinearität der ersten bis dritten Erfassungssignale Sx, Sy und Sz ein Versatz auftreten. Doch die Wirkung des mit der Korrekturverarbeitung in Zusammenhang ste-

henden Versatzes kann durch die Versatzkorrekturverarbeitung im Versatzkorrekturbereich **201** zusammen mit der Wirkung von auf andere Gründe zurückzuführenden Versätzen beseitigt werden.

[0157] Wenn mindestens einer der Korrekturfaktoren C_{11}, C_{22} und C_{33} vor und nach der Aktualisierung der Korrekturfunktionen stark variiert, kann sich der Wert der denselben Erfassungssignalen entsprechenden korrigierten Signale stark ändern. Um dies zu verhindern, können beispielsweise die folgenden Gleichungen (9) bis (11) anstelle der Gleichungen (1) bis (3) als die aktualisierten Korrekturfunktionen verwendet werden.

$$CSx = C_{11}(Sx - Sx1) + CSx1 + C_{12}Sy + C_{13}Sz \quad (9)$$

$$CSy = C_{21}Sx + C_{22}(Sy - Sy1) + CSy1 + C_{23}Sz \quad (10)$$

$$CSz = C_{31}Sx + C_{32}Sy + C_{33}(Sz - Sz1) + CSz1 \quad (11)$$

[0158] In den Gleichungen (9) bis (11) stellen Sx1, Sy1 und Sz1 die Werte der ersten bis dritten Erfassungssignale Sx, Sy beziehungsweise Sz dar, die zu einem Zeitpunkt vor der aktuellen Durchführung der Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung erzeugt wurden. CSx1, CSy1 und CSz1 stellen die Werte der ersten bis dritten korrigierten Signale CSx, CSy beziehungsweise CSz dar, die unter Verwendung von Sxl, Sy1 und Sz1 sowie der Korrekturfunktionen vor der Aktualisierung berechnet wurden.

[0159] Wenn die Gleichungen (9) bis (11) als die Korrekturfunktionen verwendet werden, kann ein Versatz bei den ersten bis dritten korrigierten Signalen CSx, CSy und CSz auftreten. Doch kann der Versatz durch die Versatzkorrekturverarbeitung im Versatzkorrekturbereich **201** zusammen mit der Wirkung von aus anderen Gründen auftretenden Versätzen beseitigt werden.

[Zweite Ausführungsform]

[0160] Nun wird eine zweite Ausführungsform der Erfindung beschrieben. Eine Magnetsensorvorrichtung **301** gemäß der vorliegenden Ausführungsform hat eine Ausgestaltung, die verschieden von der bei der ersten Ausführungsform ist. Zuerst wird kurz beschrieben, inwiefern die Ausgestaltung anders ist. Die Magnetsensorvorrichtung **301** gemäß der vorliegenden Ausführungsform ist mit zwei der ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** der ersten Ausführungsform versehen. Die folgende Beschreibung behandelt ein Beispiel, in dem die Magnetsensorvorrichtung **301** mit dem ersten Magnetsensor **10** und dem zweiten Magnetsensor **20** als den vorgenannten zwei Magnetsensoren versehen ist.

[0161] **Fig. 16** zeigt die Ausgestaltung der Magnetsensorvorrichtung **301** gemäß der vorliegenden Ausführungsform. Die vorliegende Ausführungsform ist mit keinem von dem dritten Magnetsensor **30** und dem A/D-Wandler **83** versehen. Der Magnetfelderzeugungsbereich **70** umfasst den ersten und den zweiten Magnetfeldgenerator **71** und **72** (**Fig. 11** und **Fig. 12**) und umfasst nicht den dritten Magnetfeldgenerator **73**.

[0162] Als Nächstes wird die Korrekturverarbeitung bei der vorliegenden Ausführungsform beschrieben, das heißt die Wirkungsweise des Korrekturverarbeitungsbereichs **84** des Korrekturprozessors **80** bei der vorliegenden Ausführungsform. Der erste Magnetsensor **10** erzeugt ein erstes Erfassungssignal Sx und der zweite Magnetsensor **20** erzeugt ein zweites Erfassungssignal Sy. Die Korrekturverarbeitung bei der vorliegenden Ausführungsform ist eine Verarbeitung zur Korrektur des ersten und des zweiten Erfassungssignals Sx und Sy, um ein erstes und ein zweites korrigiertes Signal CSx und CSy derart zu erzeugen, dass das erste und das zweite korrigierte Signal CSx und CSy im Vergleich zu dem ersten und dem zweiten Erfassungssignal Sx und Sy vor der Korrektur näher bei dem ersten und dem zweiten idealen Signal liegen, die im Zusammenhang mit der ersten Ausführungsform beschrieben wurden.

[0163] Das erste und das zweite korrigierte Signal CSx und CSy bei der vorliegenden Ausführungsform werden mit den nachstehenden Gleichungen (12) beziehungsweise (13) dargestellt.

$$CSx = C_{11}Sx + C_{12}Sy \quad (12)$$

$$CSy = C_{21}Sx + C_{22}Sy \quad (13)$$

[0164] In den Gleichungen (12) und (13) steht jedes von C_{11}, C_{12}, C_{21} und C_{22} für einen Korrekturfaktor. Die Gleichungen (12) bis (13) stellen die Korrekturfunktionen bei der vorliegenden Ausführungsform dar.

[0165] Wie bei der ersten Ausführungsform werden die Korrekturfunktionen in der Gl. (4) der ersten Ausführungsform unter Verwendung einer Korrekturfaktormatrix MC, eines Erfassungssignalvektors VS und eines korrigierten Signalvektors VCS dargestellt. Bei der vorliegenden Ausführungsform ist die Korrekturfaktormatrix MC eine 2 × 2 Matrix, welche die Korrekturfaktoren C_{ij} als ihre Elemente (i, j) enthält, wobei jedes von i und j 1 oder 2 ist. VS = [Sx, Sy]T, und VCS = $[CSx, CSy]^T$.

[0166] Bei der vorliegenden Ausführungsform führt der Korrekturverarbeitungsbereich **84** die Korrekturverarbeitung unter Verwendung des ersten und des zweiten Erfassungssignals Sx und Sy, die von den A/D-Wandlern **81** und **82** in eine digitale Form umgewandelt werden, und der mit den Gleichungen (12) und (13) oder Gl. (4) dargestellten Korrekturfunktionen durch. Der Korrekturverarbeitungsbereich **84** gibt die durch die Korrekturverarbeitung erzeugten ersten und zweiten korrigierten Signale CSx und CSy an den Hostprozessor **200** aus.

[0167] Als Nächstes wird die Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung bei der vorliegenden Ausführungsform, das heißt die Wirkungsweise des Korrekturfunktion-Bestimmungsbereichs **85**, des Ansteuerbereichs **86** und des Steuerbereichs **87** des Korrekturprozessors **80** bei der vorliegenden Ausführungsform, beschrieben.

[0168] Zu Anfang wird ein Überblick über die Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung bei der vorliegenden Ausführungsform mit Bezug auf **Fig. 17** gegeben. **Fig. 17** ist ein Flussdiagramm der Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung. Bei der Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung steuert als Erstes, in Schritt **S21**, der Ansteuerbereich **86** den ersten Magnetfeldgenerator **71**, um das erste zusätzliche Magnetfeld zu erzeugen und das erste zusätzliche Magnetfeld zu ändern. Der Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** erhält dann erste Daten und zweite Daten, die jeweilige Änderungen des ersten Erfassungssignals Sx des ersten Magnetsensors **10** und des zweiten Erfassungssignals Sy des zweiten Magnetsensors **20** betreffen, wenn das erste zusätzliche Magnetfeld dementsprechend geändert wird.

[0169] Als Nächstes, in Schritt **S22**, steuert der Ansteuerbereich **86** den zweiten Magnetfeldgenerator **72**, um das zweite zusätzliche Magnetfeld zu erzeugen und das zweite zusätzliche Magnetfeld zu ändern. Der Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** erhält dann dritte und vierte Daten, die jeweilige Änderungen des ersten und des zweiten Erfassungssignals Sx und Sy betreffen, wenn das zweite zusätzliche Magnetfeld dementsprechend geändert wird.

[0170] Dann, in Schritt **S23**, bestimmt der Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** die Korrekturfunktionen anhand der erhaltenen ersten bis vierten Daten.

[0171] Hier werden die Signaländerungsbeträge dSxhx, dSyhx, dSxhy und dSyhy ähnlich wie bei der ersten Ausführungsform definiert. Die Signaländerungsbeträge dSxhx, dSyhx, dSxhy und dSyhy entsprechen bei der vorliegenden Ausführungsform jeweils den ersten bis vierten Daten.

[0172] Die Signaländerungsbeträge dSxhx und dSyhx, d.h. die ersten und zweiten Daten, werden mit der nachstehenden Gl. (14) dargestellt.

$$\begin{pmatrix} dSxhx \\ dSyhx \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} SSxhx & SSxhy \\ SSyhx & SSyhy \end{pmatrix} \begin{pmatrix} dHx \\ 0 \end{pmatrix} \tag{14}$$

[0173] Die Signaländerungsbeträge dSxhy und dSyhy, d.h. die dritten und vierten Daten, werden mit der nachstehenden Gl. (15) dargestellt.

$$\begin{pmatrix} dSxhy \\ dSyhy \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} SSxhx & SSxhy \\ SSyhx & SSyhy \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ dHy \end{pmatrix} \tag{15}$$

[0174] Die Definitionen von SSxhx, SSxhy, SSyhx, SSyhy, dHx und dHy in den Gleichungen (14) und (15) sind dieselben wie bei der ersten Ausführungsform. Die 2 × 2 Matrix auf der rechten Seite von jeder der Gleichungen (14) und (15) ist bei der vorliegenden Ausführungsform eine Empfindlichkeitsmatrix MSS.

[0175] Als Nächstes wird im Einzelnen beschrieben, wie die Korrekturfunktionen in Schritt **S23** zu bestimmen sind. Der Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** berechnet zuerst die Empfindlichkeiten SSxhx, SSyhx, SSxhy und SSyhy auf der Grundlage der ersten bis vierten Daten, d.h. der Signaländerungsbeträge dSxhx, dSyhx, dSxhy und dSyhy, des Änderungsbetrags dHx bei der ersten zusätzlichen Magnetfeldkomponente und des Änderungsbetrags dHy bei der zweiten zusätzlichen Magnetfeldkomponente. Das Verfahren zum Berechnen der Empfindlichkeiten SSxhx, SSyhx, SSxhy und SSyhy ist dasselbe wie bei der ersten Ausführungsform.

[0176] Der Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** bestimmt dann die Korrekturfaktormatrix MC unter Verwendung der berechneten Empfindlichkeiten SSxhx, SSyhx, SSxhy und SSyhy. Hier werden ein erstes Beispiel und ein zweites Beispiel der Korrekturfaktormatrix MC bei der vorliegenden Ausführungsform beschrieben. Im ersten Beispiel ist die Korrekturfaktormatrix MC eine Kehrmatrix MSS^{-1} der Empfindlichkeitsmatrix MSS.

[0177] Im zweiten Beispiel ist die Korrekturfaktormatrix MC eine Matrix, die Näherungswerte der Elemente (i, j) der Kehrmatrix MSS^{-1} als ihre Elemente (i, j) enthält. Beispielsweise wird die Korrekturfaktormatrix MC des zweiten Beispiels mit der nachstehenden Gl. (16) dargestellt.

$$MC = \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{SSxhx} & -SSxhy \\ -SSyhx & \frac{1}{SSyhy} \end{pmatrix} \quad (16)$$

[0178] Der Korrekturfunktion-Bestimmungsbereich **85** bestimmt dann die Korrekturfunktionen anhand der bestimmten Korrekturfaktormatrix MC.

[0179] Bei der Magnetsensorvorrichtung **301** gemäß der vorliegenden Ausführungsform sind der erste und der zweite Magnetfeldgenerator **71** und **72**, die zu Messungen der Haupt- und Querachsenempfindlichkeiten des ersten und des zweiten Magnetsensors **10** und **20** verwendet werden, mit dem ersten und dem zweiten Magnetsensor **10** und **20** integriert. Gemäß der vorliegenden Ausführungsform ist es somit möglich, Messungen der Haupt- und Querachsenempfindlichkeiten des ersten und des zweiten Magnetsensors **10** und **20** durchzuführen und das erste und das zweite Erfassungssignal Sx und Sy ungeachtet der Verwendungsumgebung der Magnetsensorvorrichtung **301** auf der Grundlage der Messergebnisse in einfacher Weise zu korrigieren.

[0180] Die Ausgestaltung, die Wirkungsweise und die Wirkungen der vorliegenden Ausführungsform gleichen ansonsten denen der ersten Ausführungsform.

[0181] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die vorstehenden Ausführungsformen beschränkt und es können daran vielfältige Änderungen vorgenommen werden. Beispielsweise sind die Ausgestaltungen der ersten bis dritten Magnetsensoren **10**, **20** und **30** und die der ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren **71**, **72** und **73** nicht auf die jeweils bei den vorstehenden Ausführungsformen dargelegten Beispiele beschränkt und können frei gewählt werden, solange die Anforderungen der Patentansprüche erfüllt werden.

[0182] Die Magnetsensorvorrichtung **301** gemäß der zweiten Ausführungsform kann anstelle des ersten und des zweiten Magnetsensors **10** und **20** mit dem ersten und dem dritten Magnetsensor **10** und **30** oder mit dem zweiten und dem dritten Magnetsensor **20** und **30** als ihren zwei Magnetsensoren versehen sein.

[0183] Selbstverständlich sind im Lichte der obenstehenden Lehren zahlreiche Modifikationen und Änderungen der vorliegenden Erfindung möglich. Daher versteht es sich, dass die Erfindung innerhalb des Umfangs der beigefügten Ansprüche und ihrer Äquivalente in anderen Ausführungsformen als den vorstehenden am meisten bevorzugten Ausführungsformen realisiert werden kann.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 2131205 A1 [0005, 0006]
- JP 2015075465 A [0009, 0010, 0011]

Patentansprüche

1. Magnetsensorvorrichtung (1), umfassend:
einen ersten Magnetsensor (10) zum Erzeugen eines ersten Erfassungssignals, das eine Entsprechung zu einer ersten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist, wobei die erste äußere Magnetfeldkomponente eine Komponente eines äußeren Magnetfelds ist und in einer ersten Detektionsrichtung verläuft;
einen zweiten Magnetsensor (20) zum Erzeugen eines zweiten Erfassungssignals, das eine Entsprechung zu einer zweiten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist, wobei die zweite äußere Magnetfeldkomponente eine Komponente des äußeren Magnetfelds ist und in einer zweiten Detektionsrichtung verläuft;
einen dritten Magnetsensor (30) zum Erzeugen eines dritten Erfassungssignals, das eine Entsprechung zu einer dritten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist, wobei die dritte äußere Magnetfeldkomponente eine Komponente des äußeren Magnetfelds ist und in einer dritten Detektionsrichtung verläuft;
einen ersten Magnetfeldgenerator (71), der ein erstes zusätzliches Magnetfeld erzeugen kann;
einen zweiten Magnetfeldgenerator (72), der ein zweites zusätzliches Magnetfeld erzeugen kann;
einen dritten Magnetfeldgenerator (73), der ein drittes zusätzliches Magnetfeld erzeugen kann; und
einen Korrekturprozessor (80) zum Steuern der ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren (71, 72, 73) und zum Korrigieren der ersten bis dritten Erfassungssignale, wobei
die ersten bis dritten Magnetsensoren (10, 20, 30) und die ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren (71, 72, 73) integriert sind,
die ersten bis dritten Magnetsensoren (10, 20, 30) jeweils dazu eingerichtet sind, mit Folgendem beaufschlagt zu werden:
einer ersten zusätzlichen Magnetfeldkomponente, wenn das erste zusätzliche Magnetfeld vom ersten Magnetfeldgenerator (71) erzeugt wird, wobei die erste zusätzliche Magnetfeldkomponente eine Komponente des ersten zusätzlichen Magnetfelds ist und in einer zu einer ersten Richtung parallelen Richtung verläuft;
einer zweiten zusätzlichen Magnetfeldkomponente, wenn das zweite zusätzliche Magnetfeld vom zweiten Magnetfeldgenerator (72) erzeugt wird, wobei die zweite zusätzliche Magnetfeldkomponente eine Komponente des zweiten zusätzlichen Magnetfelds ist und in einer zu einer zweiten Richtung parallelen Richtung verläuft; und
einer dritten zusätzlichen Magnetfeldkomponente, wenn das dritte zusätzliche Magnetfeld vom dritten Magnetfeldgenerator (73) erzeugt wird, wobei die dritte zusätzliche Magnetfeldkomponente eine Komponente des dritten zusätzlichen Magnetfelds ist und in einer zu einer dritten Richtung parallelen Richtung verläuft,
der Korrekturprozessor (80) eine Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung zum Bestimmen von Korrekturfunktionen für die Korrektur der ersten bis dritten Erfassungssignale und eine Korrekturverarbeitung zum Korrigieren der ersten bis dritten Erfassungssignale unter Verwendung der ersten bis dritten Erfassungssignale und der Korrekturfunktionen ausführt, und
die Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung eine Verarbeitung ist, um Folgendes zu erhalten: erste bis dritte Daten, die jeweilige Änderungen der ersten bis dritten Erfassungssignale betreffen, wenn der erste Magnetfeldgenerator (71) gesteuert wird, um das erste zusätzliche Magnetfeld zu ändern; vierte bis sechste Daten, die jeweilige Änderungen der ersten bis dritten Erfassungssignale betreffen, wenn der zweite Magnetfeldgenerator (72) gesteuert wird, um das zweite zusätzliche Magnetfeld zu ändern; und siebte bis neunte Daten, die jeweilige Änderungen der ersten bis dritten Erfassungssignale betreffen, wenn der dritte Magnetfeldgenerator (73) gesteuert wird, um das dritte zusätzliche Magnetfeld zu ändern, und um die Korrekturfunktionen auf der Grundlage der ersten bis neunten Daten zu bestimmen.

2. Magnetsensorvorrichtung (1) nach Anspruch 1, wobei die ersten bis dritten Richtungen zueinander orthogonal sind.

3. Magnetsensorvorrichtung (1) nach Anspruch 1 oder 2, wobei der Korrekturprozessor (80) mit den ersten bis dritten Magnetsensoren (10, 20, 30) und den ersten bis dritten Magnetfeldgeneratoren (71, 72, 73) integriert ist.

4. Magnetsensorvorrichtung (301), umfassend:
einen ersten Magnetsensor (10) zum Erzeugen eines ersten Erfassungssignals, das eine Entsprechung zu einer ersten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist, wobei die erste äußere Magnetfeldkomponente eine Komponente eines äußeren Magnetfelds ist und in einer ersten Detektionsrichtung verläuft;
einen zweiten Magnetsensor (20) zum Erzeugen eines zweiten Erfassungssignals, das eine Entsprechung zu einer zweiten äußeren Magnetfeldkomponente aufweist, wobei die zweite äußere Magnetfeldkomponente eine Komponente des äußeren Magnetfelds ist und in einer zweiten Detektionsrichtung verläuft;
einen ersten Magnetfeldgenerator (71), der ein erstes zusätzliches Magnetfeld erzeugen kann;
einen zweiten Magnetfeldgenerator (72), der ein zweites zusätzliches Magnetfeld erzeugen kann; und
einen Korrekturprozessor (80) zum Steuern des ersten und des zweiten Magnetfeldgenerators (71, 72) und zum Korrigieren des ersten und des zweiten Erfassungssignals, wobei
der erste und der zweite Magnetsensor (10, 20) und der erste und der zweite Magnetfeldgenerator (71, 72) integriert sind,

der erste und der zweite Magnetsensor (10, 20) jeweils dazu eingerichtet sind, mit Folgendem beaufschlagt zu werden:
einer ersten zusätzlichen Magnetfeldkomponente, wenn das erste zusätzliche Magnetfeld vom ersten Magnetfeldgenerator (71) erzeugt wird, wobei die erste zusätzliche Magnetfeldkomponente eine Komponente des ersten zusätzlichen Magnetfelds ist und in einer zu einer ersten Richtung parallelen Richtung verläuft; und
einer zweiten zusätzlichen Magnetfeldkomponente, wenn das zweite zusätzliche Magnetfeld vom zweiten Magnetfeldgenerator (72) erzeugt wird, wobei die zweite zusätzliche Magnetfeldkomponente eine Komponente des zweiten zusätzlichen Magnetfelds ist und in einer zu einer zweiten Richtung parallelen Richtung verläuft,
der Korrekturprozessor (80) eine Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung zum Bestimmen von Korrekturfunktionen für die Korrektur des ersten und des zweiten Erfassungssignals und eine Korrekturverarbeitung zum Korrigieren des ersten und des zweiten Erfassungssignals unter Verwendung des ersten und des zweiten Erfassungssignals und der Korrekturfunktionen ausführt, und
die Korrekturfunktion-Bestimmungsverarbeitung eine Verarbeitung ist, um Folgendes zu erhalten: erste und zweite Daten, die jeweilige Änderungen des ersten und des zweiten Erfassungssignals betreffen, wenn der erste Magnetfeldgenerator (71) gesteuert wird, um das erste zusätzliche Magnetfeld zu ändern; und dritte und vierte Daten, die jeweilige Änderungen des ersten und des zweiten Erfassungssignals betreffen, wenn der zweite Magnetfeldgenerator (72) gesteuert wird, um das zweite zusätzliche Magnetfeld zu ändern, und um die Korrekturfunktionen auf der Grundlage der ersten bis vierten Daten zu bestimmen.

5. Magnetsensorvorrichtung (301) nach Anspruch 4, wobei die erste und die zweite Richtung zueinander orthogonal sind.

6. Magnetsensorvorrichtung (301) nach Anspruch 4 oder 5, wobei der Korrekturprozessor (80) mit dem ersten und dem zweiten Magnetsensor (10, 20) und dem ersten und dem zweiten Magnetfeldgenerator (71, 72) integriert ist.

Es folgen 15 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

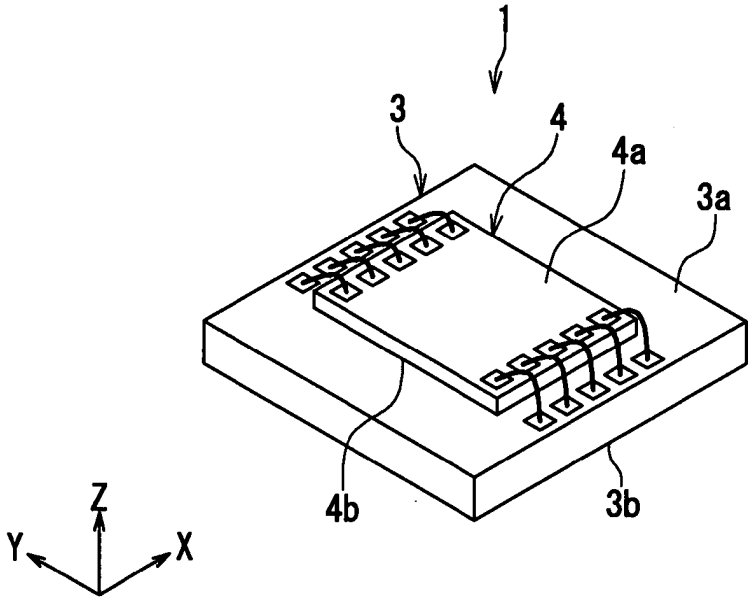


FIG. 1

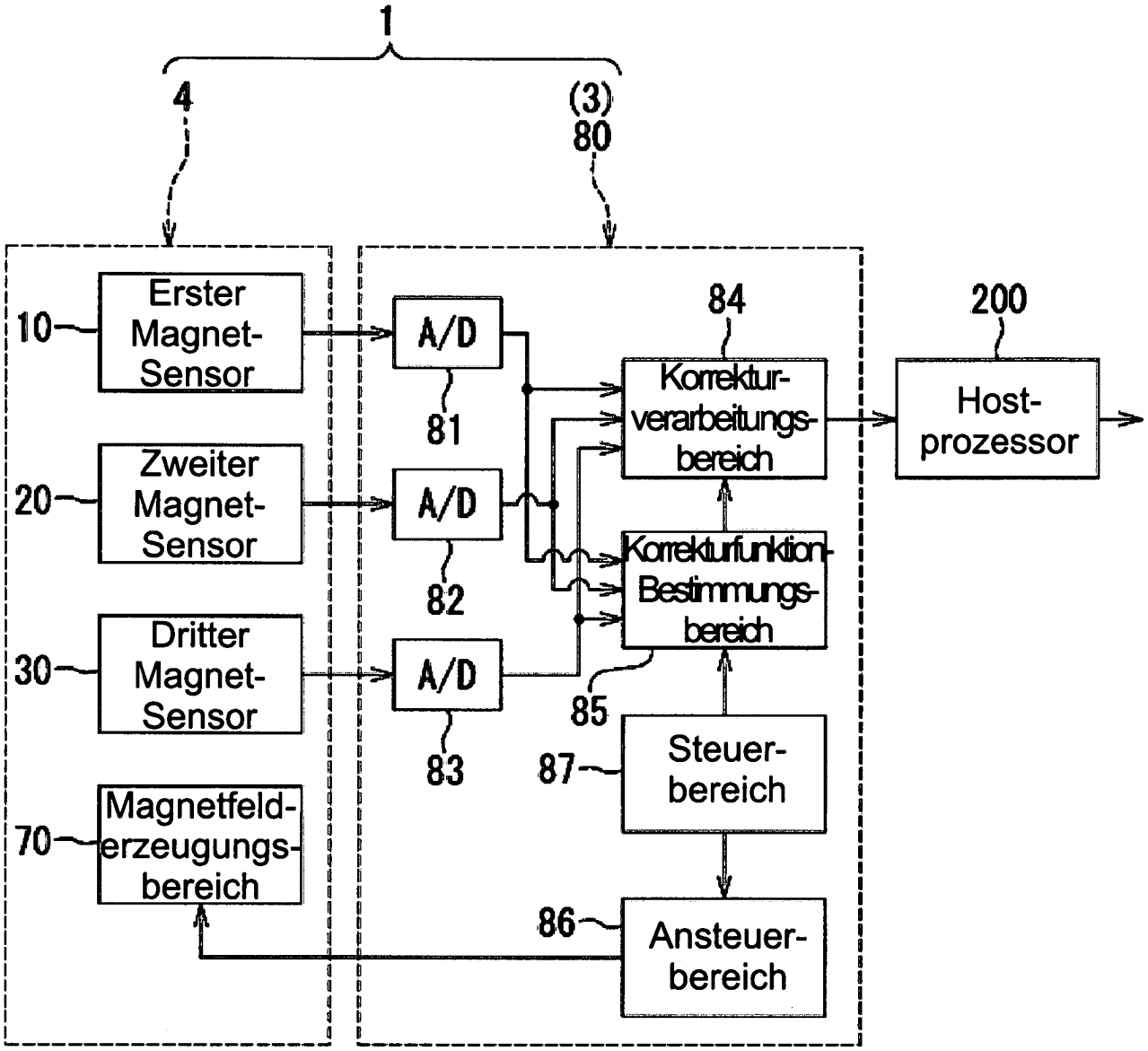

1
4
(3)
80
10
Erster Magnet-Sensor
20
Zweiter Magnet-Sensor
30
Dritter Magnet-Sensor
70
Magnetfeld-erzeugungs-bereich
A/D
81
A/D
82
A/D
83
84
Korrektur-verarbeitungs-bereich
Korrekturfunktion-Bestimmungs-bereich
85
87
Steuer-bereich
86
Ansteuer-bereich
200
Host-prozessor

FIG. 2

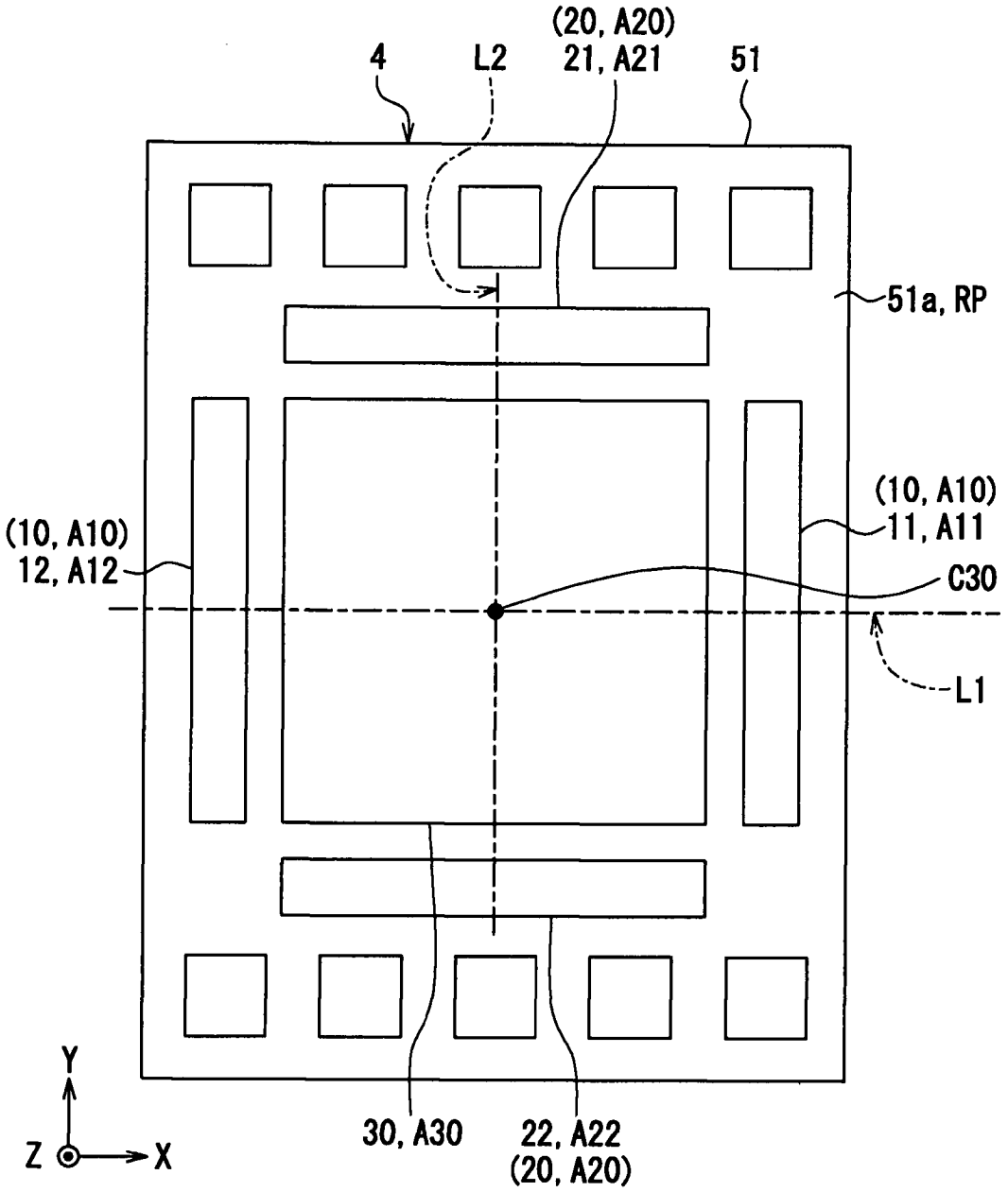

4
L2
(20, A20)
21, A21
51
51a, RP
(10, A10)
11, A11
(10, A10)
12, A12
C30
L1
Y
Z
X
30, A30
22, A22
(20, A20)

FIG. 3

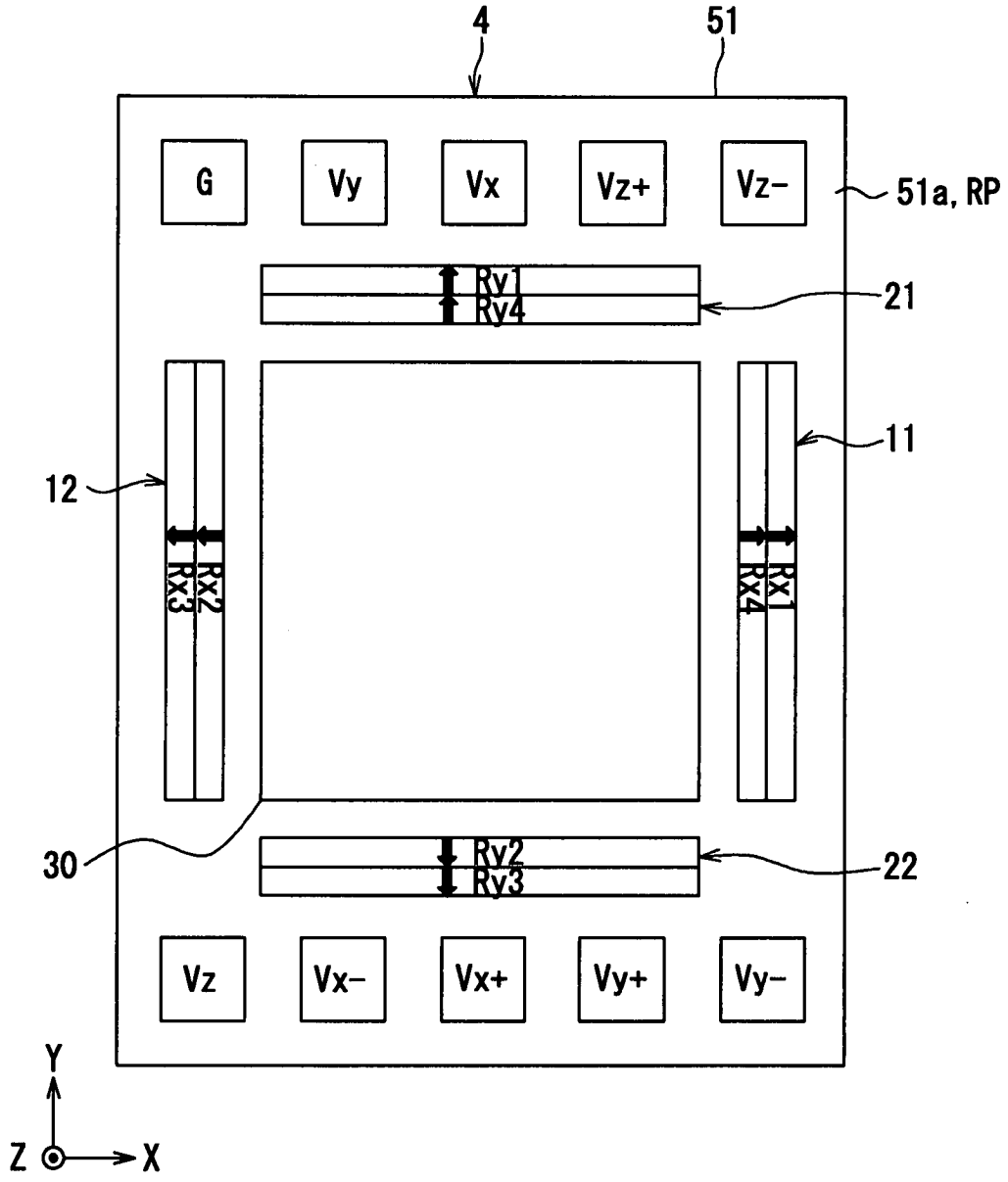

4
51
G
Vy
Vx
Vz+
Vz-
51a, RP
Ry1
Ry4
21
11
12
Rx2
Rx3
Rx1
Rx4
30
Ry2
Ry3
22
Vz
Vx-
Vx+
Vy+
Vy-
Y
Z
X

FIG. 4

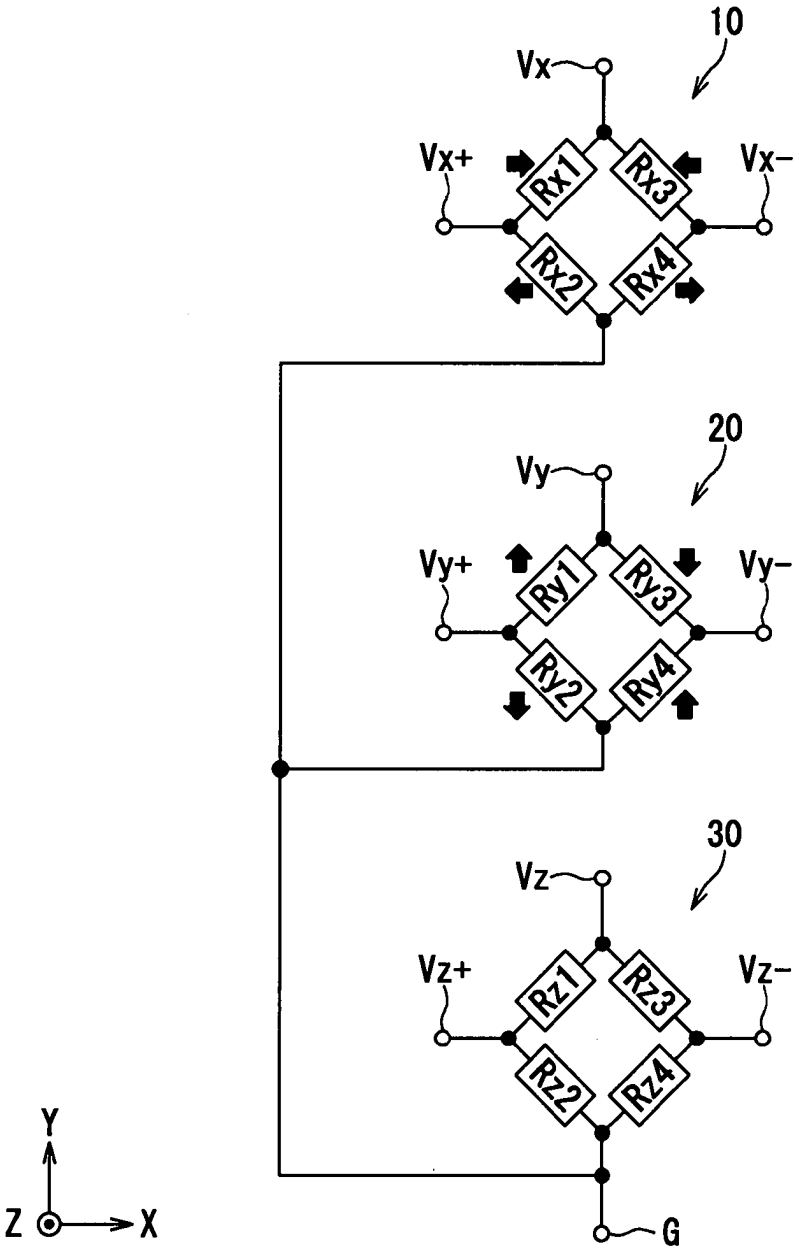

10
Vx
Vx+
Rx1
Rx3
Vx−
Rx2
Rx4
20
Vy
Vy+
Ry1
Ry3
Vy−
Ry2
Ry4
30
Vz
Vz+
Rz1
Rz3
Vz−
Rz2
Rz4
G
Y
Z
X

FIG. 5

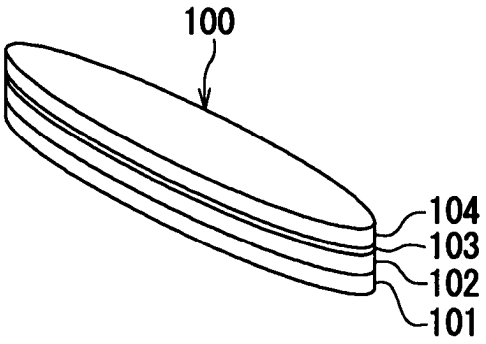


FIG. 6

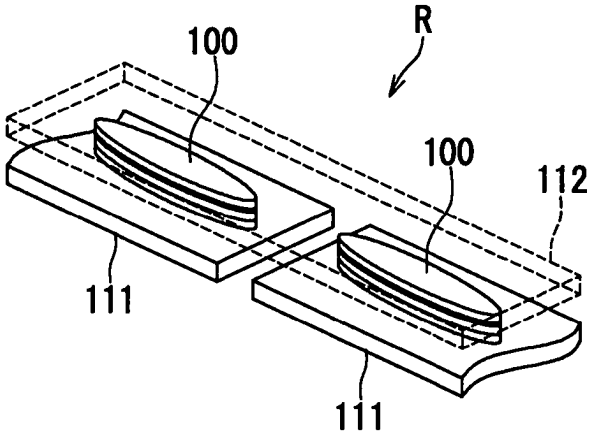


FIG. 7

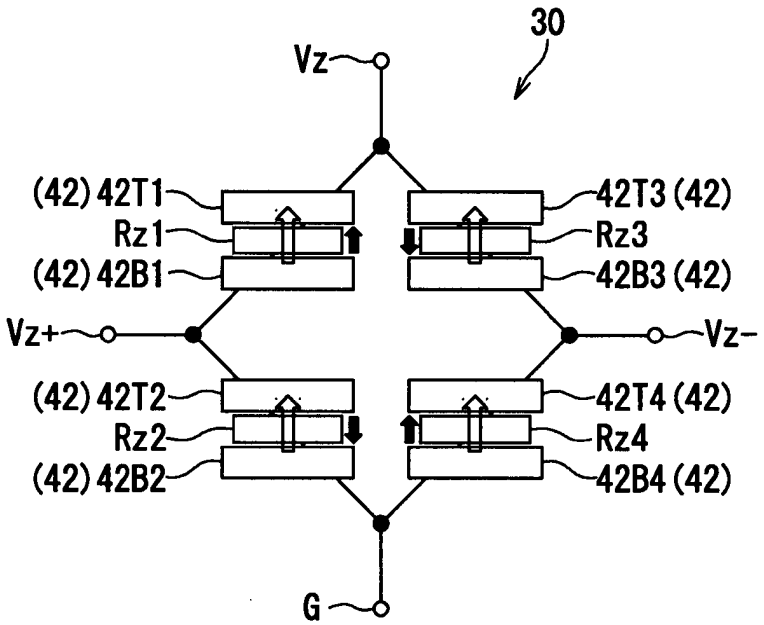

30
Vz
(42) 42T1
Rz1
(42) 42B1
42T3 (42)
Rz3
42B3 (42)
Vz+
Vz-
(42) 42T2
Rz2
(42) 42B2
42T4 (42)
Rz4
42B4 (42)
G

FIG. 8

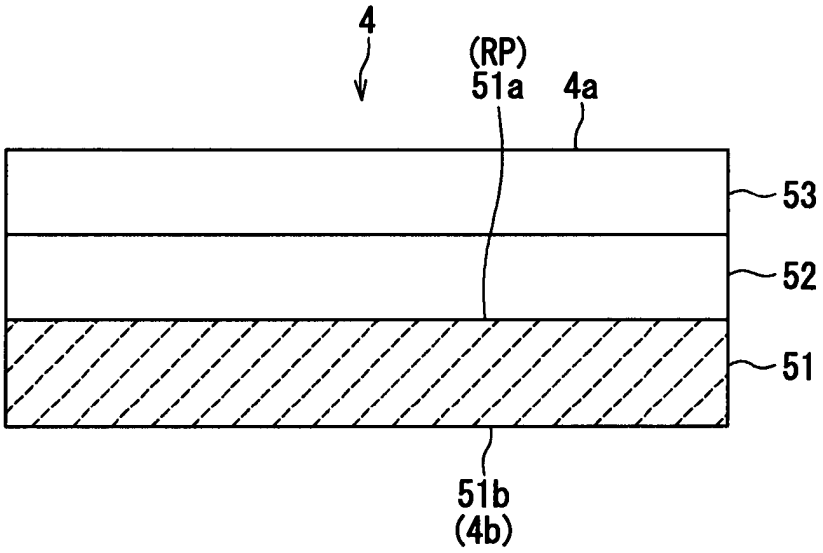

4
(RP)
51a
4a
53
52
51
51b
(4b)

FIG. 9

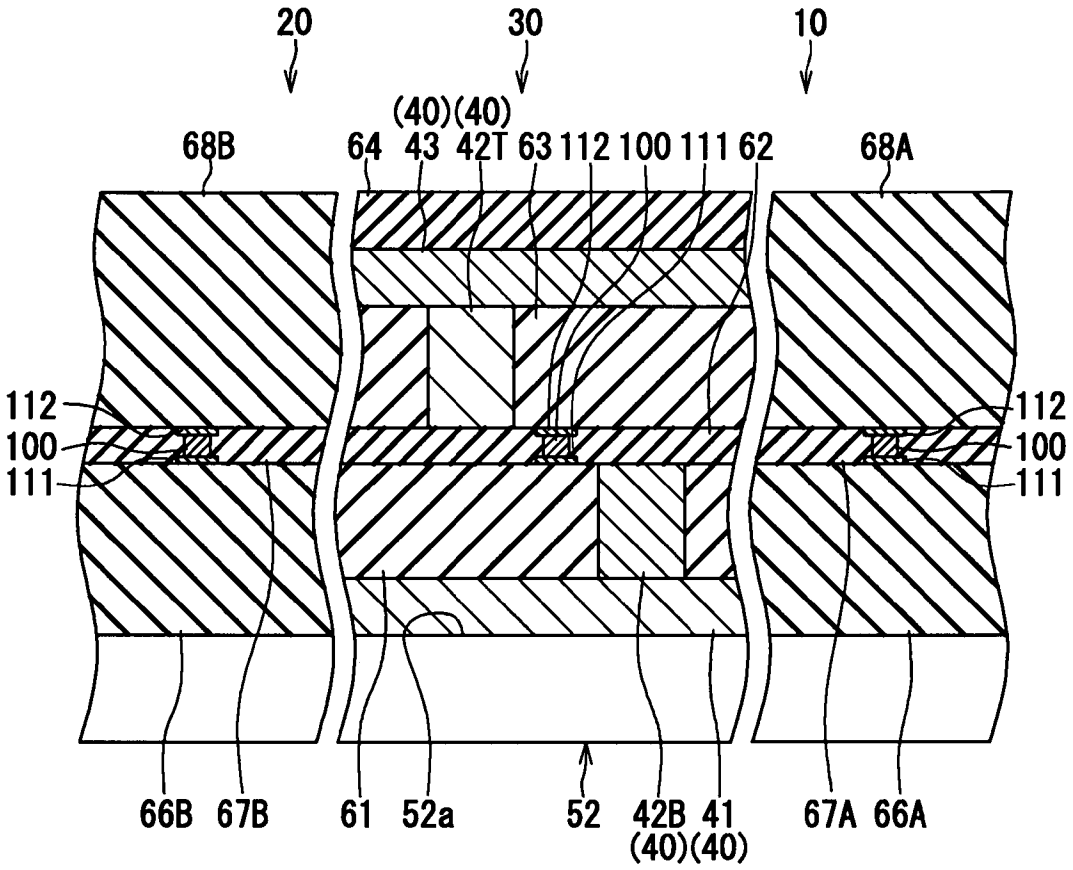

20
30
10
(40)(40)
68B
64
43
42T
63
112
100
111
62
68A
112
100
111
112
100
111
66B
67B
61
52a
52
42B
41
(40)(40)
67A
66A

FIG. 10

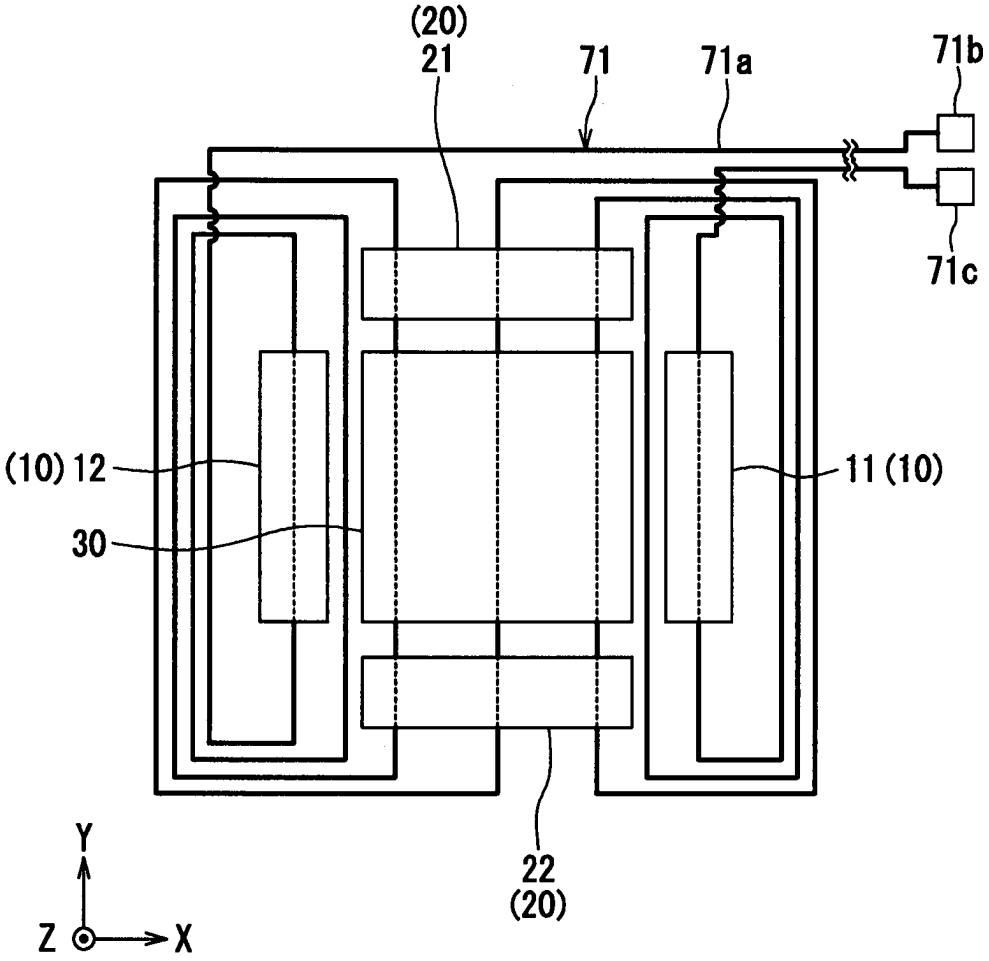


FIG. 11

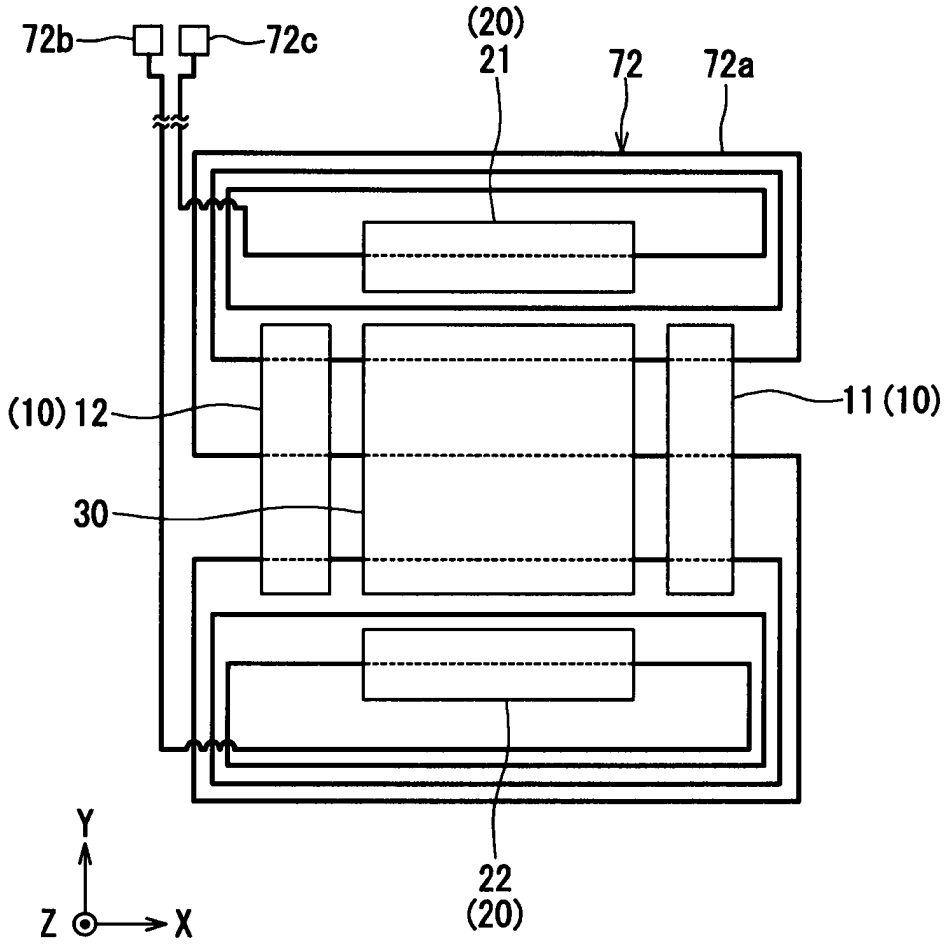


FIG. 12

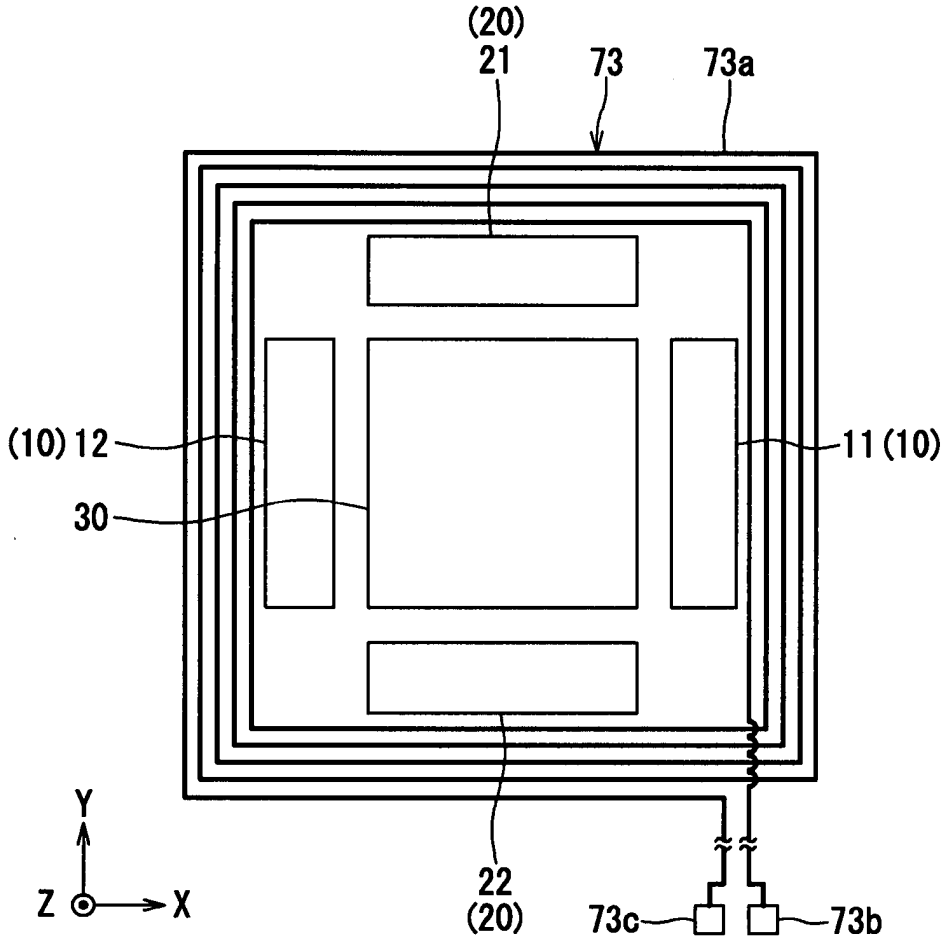


FIG. 13

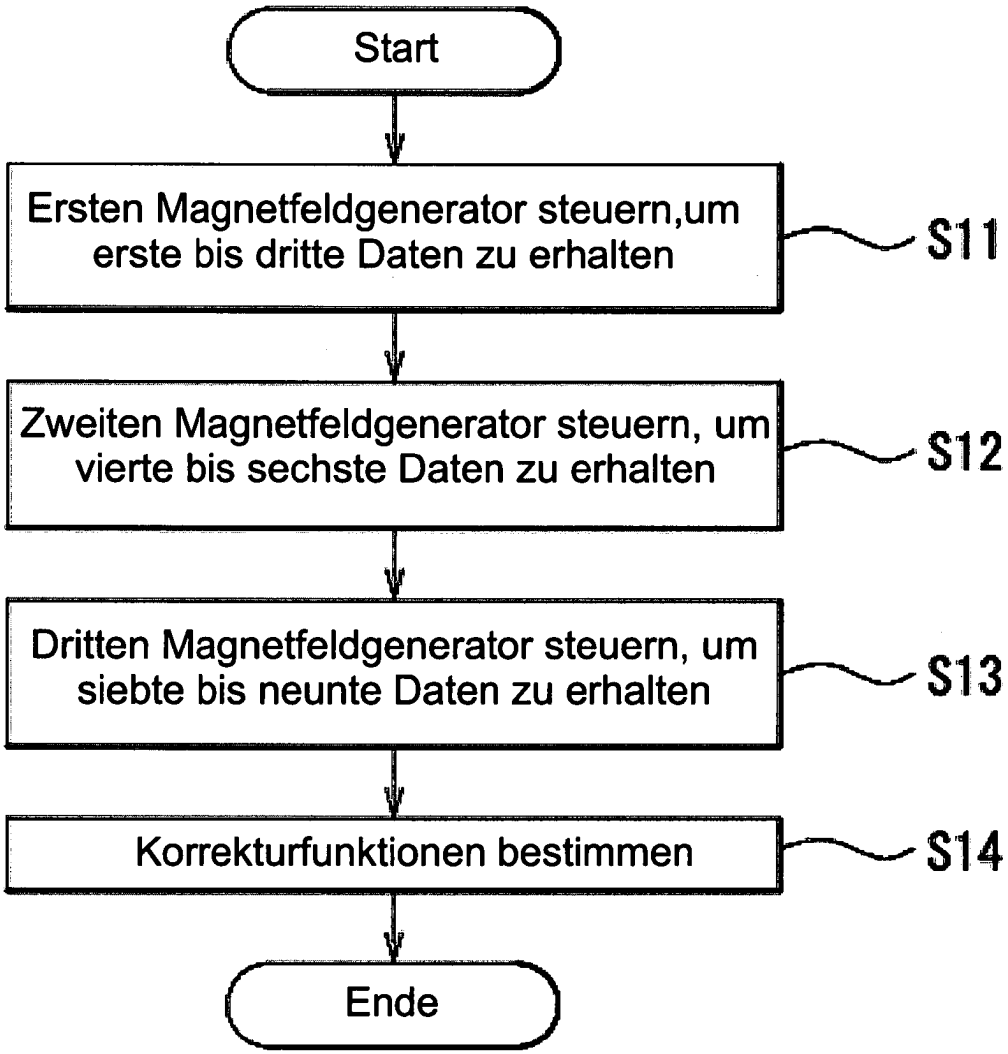

Start
Ersten Magnetfeldgenerator steuern,um erste bis dritte Daten zu erhalten
S11
Zweiten Magnetfeldgenerator steuern, um vierte bis sechste Daten zu erhalten
S12
Dritten Magnetfeldgenerator steuern, um siebte bis neunte Daten zu erhalten
S13
Korrekturfunktionen bestimmen
S14
Ende

FIG. 14

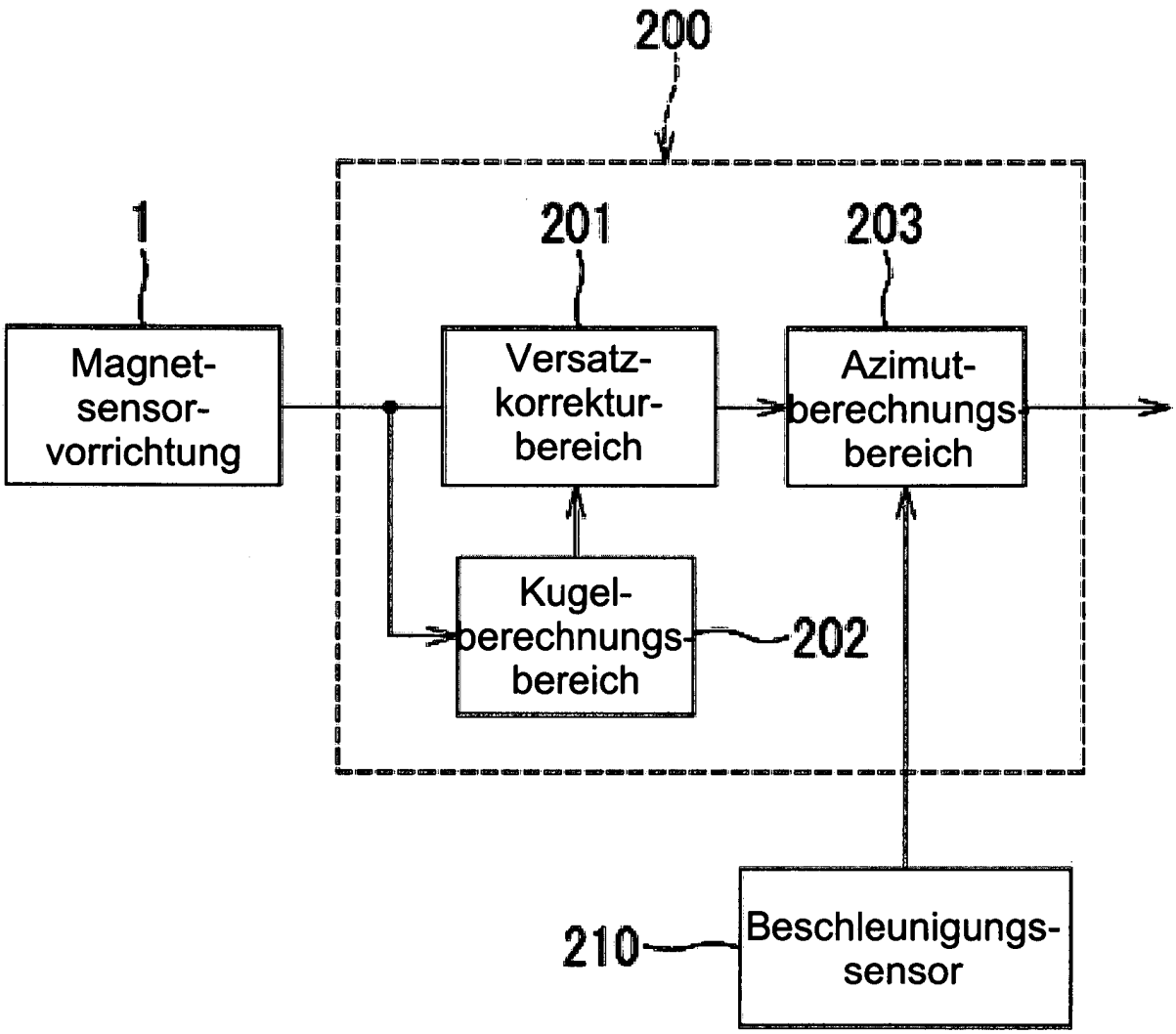

200
1
201
203
Magnet-sensor-vorrichtung
Versatz-korrektur-bereich
Azimut-berechnungs-bereich
Kugel-berechnungs-bereich
202
210
Beschleunigungs-sensor

FIG. 15

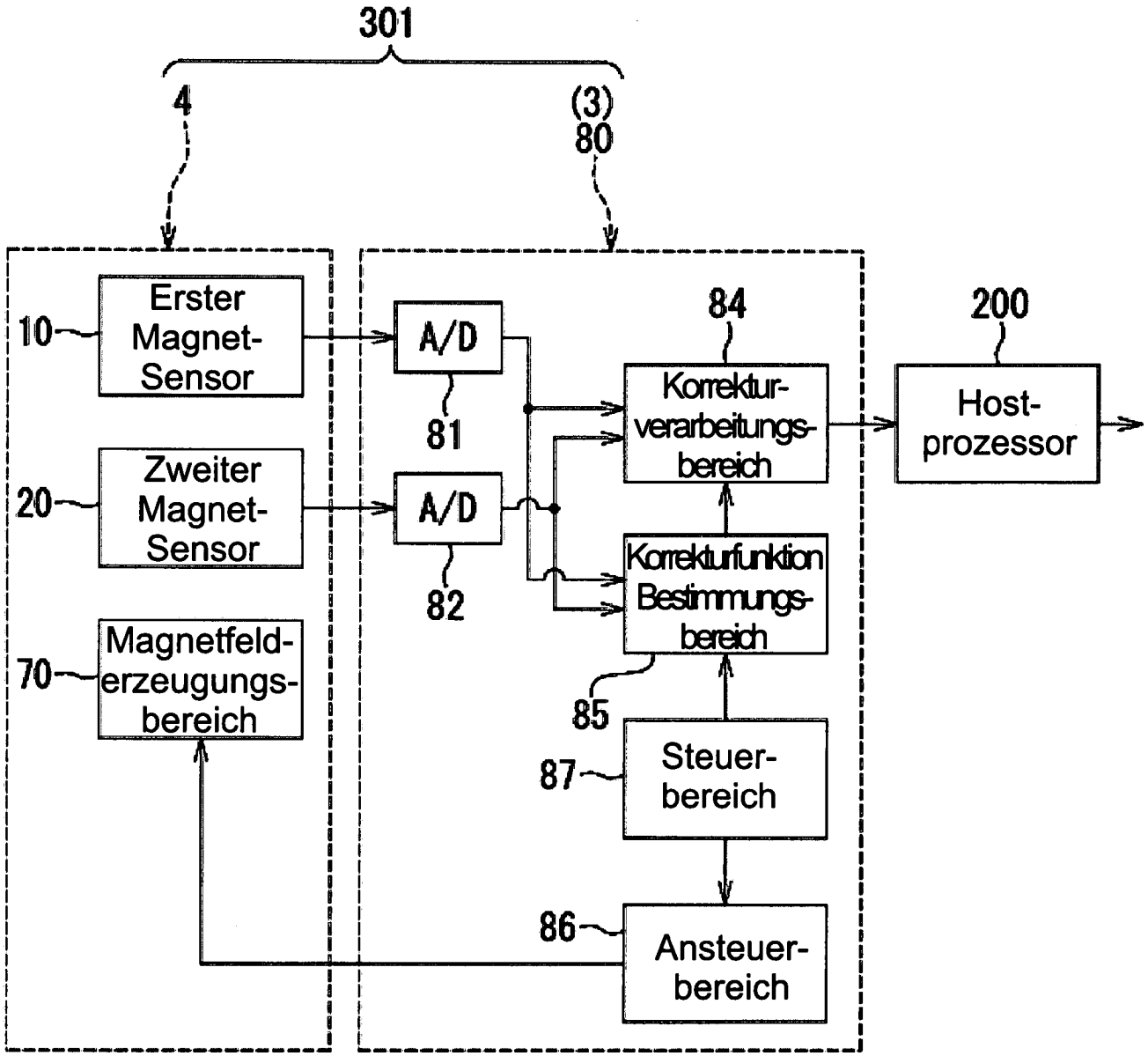

301
4
(3)
80
10
Erster Magnet-Sensor
20
Zweiter Magnet-Sensor
70
Magnetfeld-erzeugungs-bereich
A/D
81
A/D
82
84
Korrektur-verarbeitungs-bereich
Korrekturfunktion Bestimmungs-bereich
85
87
Steuer-bereich
86
Ansteuer-bereich
200
Host-prozessor

FIG. 16

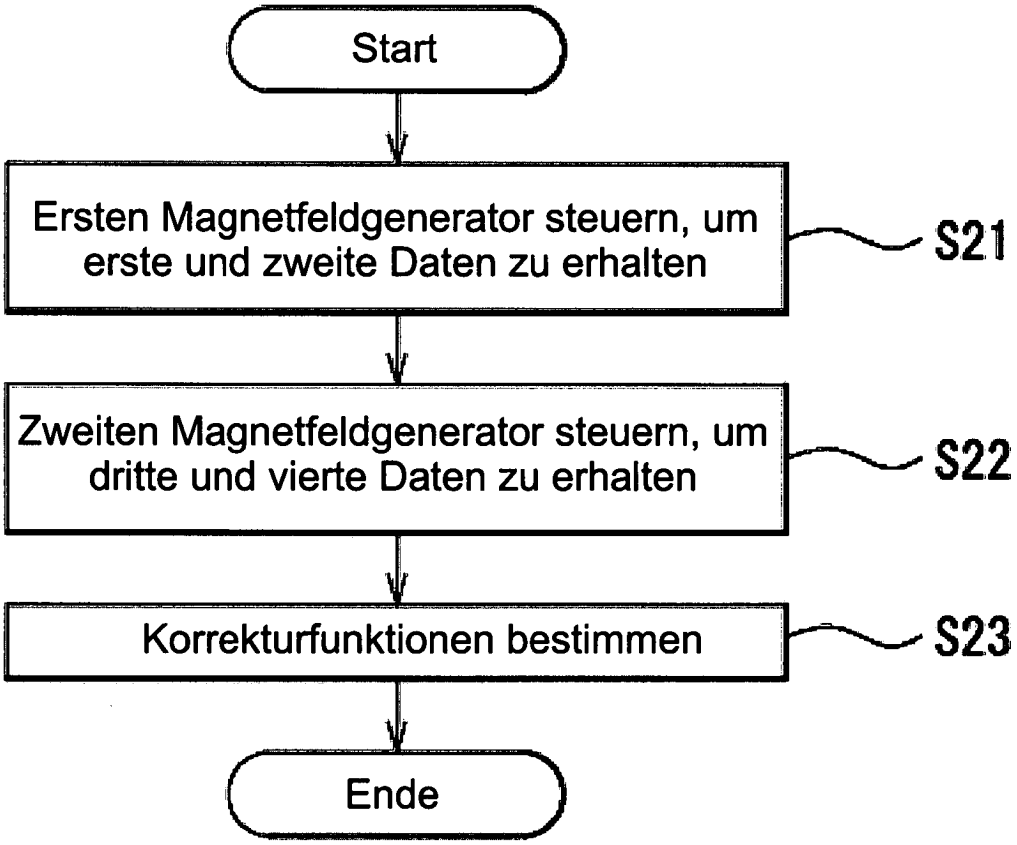


FIG. 17

Das Dokument wurde durch die Firma Jouve erstellt.