



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 52 647 A1** 2004.06.03

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 52 647.1**

(22) Anmeldetag: **11.11.2003**

(43) Offenlegungstag: **03.06.2004**

(51) Int Cl.⁷: **G01R 33/3815**
G01R 33/387

(30) Unionspriorität:

10/065848 25.11.2002 US

(71) Anmelder:

General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(74) Vertreter:

**Sieb, R., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 69514
Laudenbach**

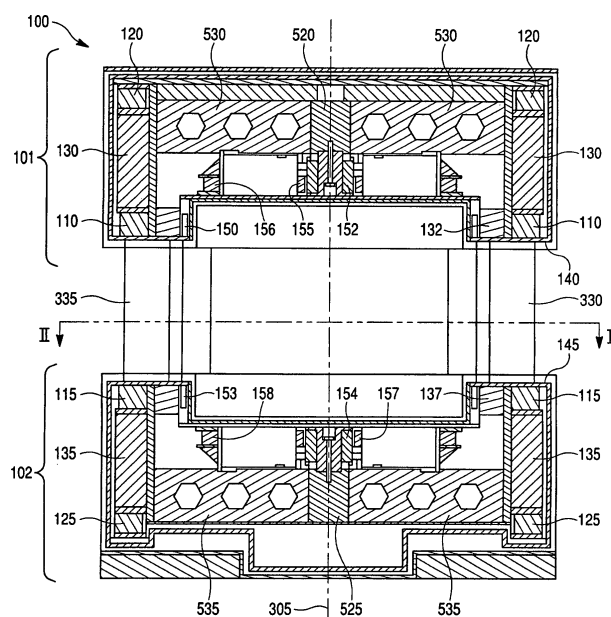
(72) Erfinder:

**Laskaris, Evangelos, Schenectady, N.Y., US;
Huang, Xianrui, Clifton Park, N.Y., US; Ogle,
Michele Dollar, Burnt Hills, N.Y., US; Palmo,
Michael A., Ballston Spa, N.Y., US; Thompson,
Paul S., Stephentown, N.Y., US**

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Kaltmassen-Trägerstruktur und Heliumgefäß aktiv abgeschirmter offener MRI-Magneten hoher Feldstärke**

(57) Zusammenfassung: Ein offenes magnetisches Resonanz-Abbildungs(MRI)-Gerät 100 mit mindestens einer Hauptspule 110, 115 zum Erzeugen eines Magnetfeldes zum Abbilden eines Volumens und mindestens einer Formspule 150, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158 wird geschaffen. Die mindestens eine Formspule 150, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158 ist relativ zu der mindestens einen Hauptspule 110, 115 angeordnet, um das Magnetfeld in dem Volumen zu formen.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf magnetische Resonanz-Abbildungs(MRI)-Geräte und mehr im Besonderen auf MRI-Geräte mit mindestens einer Formspule zum Formen eines Magnetfeldes zum Abbilden eines Volumens sowie MRI-Geräte mit einer Einzeleinheits-Trägerstruktur.

Stand der Technik

[0002] MRI-Geräte werden in weitem Rahmen in der Medizin als ein diagnostisches Werkzeug zum Abbilden von Gegenständen, wie Gewebe- und Organ-Strukturen benutzt. Ein konventionelles MRI-Gerät ist, z.B., in der US-PS 6,172,588 (im Folgenden dem "'588-Patent'") beschrieben, das in seiner Gesamtheit durch Bezugnahme hier aufgenommen wird. Wie im '588-Patent beschrieben, schließen bekannte Widerstands- oder supraleitende (im Folgenden "SC") MRI-Magnet-Gestaltungen geschlossene und offene Magnete ein. Geschlossene Magnete haben typischerweise eine einzelne rohrförmige Widerstands- oder SC-Spulenbaueinheit mit einer Bohrung. Die Spulenbaueinheit schließt mehrere radial ausgerichtete und longitudinal beabstandete Widerstands- oder SC-Hauptspulen ein, die jeweils einen großen identischen elektrischen Strom in der gleichen Richtung tragen. Die Hauptspulen sind so gestaltet, dass sie ein Magnetfeld großer Gleichförmigkeit innerhalb eines typischen kugelförmigen Abbildungsvolumens erzeugen, das innerhalb der Magnetbohrung zentriert ist, wo das abzubildende Objekt angeordnet ist.

[0003] Eine einzelne rohrförmige Abschirmungs-Baueinheit kann auch benutzt werden, um zu verhindern, dass das starke Magnetfeld, das durch die Hauptspulen erzeugt wird und diese umgibt, in nachteiliger Weise mit der elektronischen Ausrüstung in der Nähe des Magneten in Wechselwirkung tritt. Eine solche Abschirmungs-Baueinheit schließt typischerweise mehrere radial ausgerichtete und longitudinal beabstandete Widerstands- oder SC-Kompensationsspulen ein, die elektrische Ströme allgemein gleicher Amperezahl, aber in einer entgegengesetzten Richtung zu dem in den Hauptspulen getragenen elektrischen Strom, tragen und die radial außerhalb der Hauptspulen angeordnet sind.

[0004] Offene Magnete, die "C"-förmige Magnete einschließen, benutzen typischerweise zwei beabstandete Spulen-Baueinheiten, wobei der Raum zwischen den Baueinheiten das Abbildungsvolumen enthält. Die beabstandeten Spulen-Baueinheiten gestatten somit den Zugang durch das medizinische Personal für chirurgische oder andere medizinische Verfahren während der magnetischen Resonanz-Abbildung. Der Patient kann in diesem Raum oder auch in der Bohrung der ringförmigen Spulen-Baueinheiten angeordnet sein. Der offene Raum hilft dem Pati-

enten, irgendwelche Gefühle der Claustrophobie zu überwinden, die in einer geschlossenen Magnetgestaltung auftreten können.

[0005] Bekannte offene Magnetgestaltungen mit Abschirmung schließen solche ein, bei denen jede Spulen-Baueinheit eine offene Bohrung hat und eine Widerstands- oder SC-Abschirmungsspule enthält, die längs und radial außerhalb der Widerstands- oder SC-Hauptspule(n) angeordnet ist. Es ist in offenen Magnetgestaltungen auch bekannt, ein Eisenpolstück in der Bohrung einer Widerstands- oder SC-Spulen-Baueinheit anzuordnen. Das Eisenpolstück fördert die Stärke des Magnetfeldes und korrigiert durch Formen der Oberfläche des Polstückes den Magneten und verbessert die Homogenität des Magnetfeldes. Ein Eisen-Rückführungspfad wird benutzt, um die beiden Eisenpolstücke zu verbinden. Es wird darauf hingewiesen, dass das Eisenpolstück auch den Magneten abschirmt.

[0006] Konventionelle MRI-Geräte haben jedoch aus verschiedenen Gründen eine begrenzte Abbildungs-Genauigkeit. Zumindest ein Teil der beschränkten Genauigkeit ist Herstellungs-Toleranzen zuzuschreiben, die inhärent zu Variationen von einem hergestellten MRI-Gerät zum anderen führen. Herstellungs-Toleranzfehler in bekannten MRI-Geräten wurden durch konventionelle Multieinheits-Trägerstrukturen darin erschwert, die eine beträchtliche Anzahl von Orten einschließen können, wo durch die Herstellung eingeführte Variationen auftreten können (z.B. Anordnungs- und/oder Ausrichtungs-Fehler bei der Positionierung von Spulen usw.).

[0007] Weiter kann der MRI-Magnet selbst an Herstellungs-Variationen leiden, wie geringen Variationen in der Positionierung seiner Wicklungen usw. Um diese Probleme zu kompensieren, schließen konventionelle Techniken zum Herstellen von MRI-Geräten komplizierte und aufwändige Regime zur Anordnung und Einstellung der MRI-Geräte-Komponenten ein, die auf der Trägerstruktur montiert sind. Dies kann zu höheren Herstellungskosten, längeren Herstellungszeiten und allgemein komplexeren MRI-Geräten führen.

Aufgabenstellung

[0008] Es besteht daher ein Bedarf an einem MRI-Gerät, das innerhalb des Abbildungsvolumens des Magneten eine größere Homogenität des magnetischen Feldes ergibt, sowie einem Verfahren zum Herstellen des MRI-Gerätes mit engeren Toleranzen.

KURZE ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0009] Die vorliegende Erfindung ist auf die Verringerung oder Beseitigung eines oder mehrerer der oben erläuterten Probleme und anderer im Stande der Technik gefundener Probleme gerichtet.

[0010] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein offenes magnetisches Re-

sonanz-Abbildungs(MRI)-Gerät mit mindestens einer Hauptspule, zum Erzeugen eines Magnetfeldes zum Abbilden eines Volumens, und mindestens einer Formspule ausgerüstet. Die mindestens eine Formspule ist mit Bezug auf die mindestens eine Hauptspule derart angeordnet, dass sie das Magnetfeld in dem Volumen formt.

[0011] Das offene MRI-Gerät kann eine Einzeleinheits-Trägerstruktur einschließen, wobei die mindestens eine Hauptspule an einer äußeren Oberfläche der Einzeleinheits-Trägerstruktur positioniert ist, und wobei die mindestens eine Formspule auf einer inneren Oberfläche der Einzeleinheits-Trägerstruktur positioniert ist.

[0012] Vorzugsweise umfasst die Einzeleinheits-Trägerstruktur eine im Wesentlichen zylindrische Hülle, eine entlang einer im Wesentlichen zentralen Achse der zylindrischen Hülle angeordnete Nabe und mehrere Anschluss- bzw. Eckplatten, die innerhalb der zylindrischen Hülle angeordnet sind, wobei sich jede der Eckplatten radial von der Nabe aus nach außen erstreckt. Bevorzugter umfasst die Einzeleinheits-Trägerstruktur weiter mindestens einen Trägerpfosten, der zwischen einer ersten Hälfte und einer zweiten Hälfte der zylindrischen Hülle angeordnet ist.

[0013] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird eine magnetische Resonanz-Abbildungs(MRI)-Vorrichtung zum Abbilden eines Volumens bereitgestellt, die mindestens eine Hauptspule, die zur Erzeugung eines Magnetfeldes konfiguriert ist, mindestens eine Kompensationsspule, die zum Abschirmen der mindestens einen Hauptspule konfiguriert ist, mehrere Formspulen zum Formen des Magnetfeldes in dem Volumen und mehrere Eisenringe zum Abschirmen von Wechselwirkungen zwischen Spulen entgegengesetzter Polarität umfasst, wobei mindestens einer der mehreren Eisenringe zwischen der mindestens einen Hauptspule und der mindestens einen Kompensationsspule angeordnet ist.

[0014] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird eine magnetische Resonanz-Abbildungs(MRI)-Vorrichtung zum Abbilden eines Volumens geschaffen, umfassend eine Einrichtung zum Erzeugen eines Magnetfeldes zum Abbilden des Volumens, eine Einrichtung zum Abschirmen der Einrichtung zum Erzeugen und eine Einrichtung zum Formen des Magnetfeldes.

Ausführungsbeispiel

[0015] **Fig. 1** ist eine Querschnittsansicht eines MRI-Gerätes gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0016] **Fig. 2** ist eine Querschnittsansicht, die auf die Ebene II-II in **Fig. 1** schaut.

[0017] **Fig. 3** ist eine Querschnittsansicht einer Einzeleinheits-Trägerstruktur gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0018] Es wird nun detailliert auf derzeit bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung Bezug genommen. Wo immer möglich, werden die gleichen Bezugszahlen in der Zeichnung benutzt, um gleiche oder ähnliche Teile zu bezeichnen.

[0019] Ein offenes MRI-Gerät gemäß einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist in **Fig. 1** gezeigt. Vorzugsweise schließt das MRI-Gerät einen Magneten von 0,5 Tesla oder mehr (z.B. etwa 0,5 Tesla bis etwa 1,5 Tesla) ein. In **Fig. 1** ist beispielhaft, nicht aber zur Einschränkung, eine 1,2 Tesla-Konfiguration gezeigt und wird detailliert im Folgenden beschrieben. Andere Konfigurationen sind auch möglich, wie dem Fachmann nach dem Lesen dieser Offenbarung klar sein wird.

[0020] Wie in **Fig. 1** gezeigt, schließt das MRI-Gerät **100** gemäß dieser ersten Ausführungsform Hauptspulen **110**, **115** zum Erzeugen eines Magnetfeldes zum Abbilden eines Volumens ein. Typische Konfigurationen benutzen zwei Hauptspulen **110**, **115**, wie gezeigt, von denen eine auf jeder der beiden "Hälften" **101**, **102** des MRI-Gerätes **100** angeordnet ist. Die Hauptspulen **110**, **115** sind mit einer (nicht gezeigten) Quelle elektrischer Energie zum Hindurchleiten eines Stromes durch die Hauptspulen **110**, **115** gekoppelt, wodurch das Magnetfeld zum Abbilden eines Volumens aufgebaut wird. Typischerweise sind MRI-Magneten nur mit einer Quelle elektrischer Energie zum Aufbauen des Magnetfeldes verbunden. Danach kann die Zufuhr elektrischer Energie unterbrochen werden (braucht es aber nicht).

[0021] Kompensationsspulen **120**, **125** (auch als Abschirmungsspulen bekannt) sind relativ zu den Hauptspulen **110**, **115** vorgesehen, um äußere Geräte von dem magnetischen Randfeld abzuschirmen, das durch die Hauptspulen **110**, **115** erzeugt wird. Vorzugsweise sind zwei Kompensationsspulen **120**, **125** vorhanden, wie gezeigt, sodass eine Kompensationsspule **120**, **125** für jede Hauptspule **110** bzw. **115** vorgesehen ist. Die Kompensationsspulen **120**, **125** sind auch mit einer (nicht gezeigten) Quelle elektrischer Energie gekoppelt, um einen Strom durch die Kompensationsspulen **120**, **125** zu leiten, wodurch ein magnetisches Abschirmungsfeld zum Abschirmen der Hauptspulen **110**, **115** erzeugt wird. Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung sind die Kompensationsspulen **120**, **125** in einer umgekehrten Richtung, verglichen mit den entsprechenden Hauptspulen **110**, **115**, gewickelt, sodass die Polarität einer gegebenen Kompensationsspule **120**, **125** der der entsprechenden Hauptspule **110**, **115** entgegengesetzt ist, d.h., der Strom in einer Kompensationsspule **120**, **125** fließt entgegen dem Strom in der entsprechenden Hauptspule **110**, **115**. Dies ergibt den "Abschirmungseffekt" zum Begrenzen des Randfeldes der Hauptspulen **110**, **115**. Typischerweise haben die Kompensationsspulen **120**, **125** ein Dipolmo-

ment relativ gleicher Größe wie die Hauptspulen **110**, **115**.

[0022] Zwischen den Hauptspulen **110**, **115** und entsprechenden Kompensationsspulen **120**, **125** sind Eisenringe **130**, **135** vorgesehen, um die Hauptspulen **110**, **115** von den entsprechenden Kompensationsspulen **120**, **125** magnetisch zu isolieren (d.h., "abzuschirmen") und eine zusätzliche strukturelle Stütze für das MRI-Gerät **100** bereitzustellen. Eine andere Funktion der Eisenringe **130**, **135** ist es, die magnetischen Kräfte der Hauptspulen **110**, **115** und der Kompensationsspulen **120**, **125** zu kontrollieren.

[0023] Vorzugsweise ist ein Druckgefäß **140**, **145** vorgesehen, das zumindest teilweise die Hauptspulen **110**, **115** und bevorzugter auch die Eisenringe **130**, **135** und/oder Kompensationsspulen **120**, **125** (falls vorhanden) einkapselt. Das Druckgefäß **140**, **145** kann mit flüssigem Helium gefüllt sein, um elektrische und thermische Verbindungsstellen/Verbindungen innerhalb des Druckgefäßes **140**, **145** zu gestatten. Zusätzlich können verschiedene Komponenten (z.B. SC-Spulen, wie die Hauptspulen **110**, **115**) mit einer (nicht gezeigten) Kühlvorrichtung gekoppelt sein, um eine gegebene Komponente auf Betriebsniveau zu kühlen. Das Druckgefäß **140**, **145** würde so für erforderliche Kühlleitungen usw. angepasst sein.

[0024] Zum Abstützen der verschiedenen MRI-Gerätekomponente (z.B. der Hauptspulen **110**, **115**, der Kompensationsspulen **120**, **125**, der Eisenringe **130**, **135**, des Druckgefäßes **140**, **145** usw.) kann eine Einzeleinheits-Trägerstruktur vorgesehen sein: Die Einzeleinheits-Trägerstruktur schließt eine im Wesentlichen zylindrische Hülle ein, die darin eine zentrale Längsachse **305** aufweist. Vorzugsweise ist die Einzeleinheits-Trägerstruktur im Wesentlichen symmetrisch um die Ebene II-II und schneidet die im Wesentlichen zylindrische Hülle in zwei im Wesentlichen identische Hälften **101** und **102**. Dies ergibt eine relative Gleichförmigkeit in dem Magnetfeld, das durch die Hauptspulen **110**, **115** auf jeder Hälfte **101**, **102** erzeugt wird.

[0025] Die Einzeleinheits-Trägerstruktur ist vorzugsweise aus korrosionsbeständigem bzw. rostfreiem Stahl hergestellt. Alternativ könnte die Einzeleinheits-Trägerstruktur aus Aluminium oder faserverstärkten Verbundmaterialien hergestellt werden. Es sollte klar sein, dass die zylindrische Hülle, der (unten zu beschreibende) Nabenteil, die (unten zu beschreibenden) Anschlussplatten und die (unten zu beschreibenden) Pfosten **330**, **335** alle vorzugsweise aus dem gleichen Material hergestellt sind, um während des Betriebes der gleichen thermischen Kontraktion zu unterliegen und die Herstellung dieser Teile zu vereinfachen, wenn eine Schweißtechnik dabei benutzt wird. Dies gestattet eine größere Gleichmäßigkeit bei der Herstellung und dem Betrieb des MRI-Gerätes **100** und somit eine größere Genauigkeit beim Abbilden damit. Alternativ können verschiedene Komponenten aus unterschiedlichen Materialien hergestellt sein, falls erwünscht, wie einzelne

Komponenten, die aus verschiedenen Materialien relativ zu einander hergestellt sind, oder eine gegebene Komponente, die selbst aus mehreren verschiedenen Materialien hergestellt ist.

[0026] Jede Hälfte **101**, **102** des MRI-Gerätes **100** schließt einen entsprechenden Nabenteil ein. Der Nabenteil schließt eine zentrale Nabe **520**, **525** und eine Anzahl von Anschlussplatten **530**, **535** ein, die sich radial von der Nabe **520**, **525** aus nach außen erstrecken. Die Anschlussplatten **530**, **535** können mittels Wasserstrahl in Plattenteile geschnittene Löcher aufweisen, wie gezeigt, falls erforderlich. Vorzugsweise sind die mehreren Anschlussplatten **530**, **535** an einem Ende an die zentrale Nabe **520**, **525** und am anderen Ende an die zylindrische Hülle geschweißt. Alternativ können andere Verbindungs-Techniken, wie Leimen und Bolzen, benutzt werden, darauf jedoch nicht beschränkt, insbesondere in Gestaltungen für geringere Feldstärken. Die Einzeleinheits-Trägerstruktur ist so gebaut, dass sie genügend Starrheit hat, um die Bewegung aufgrund von Vibration und Verformungen durch magnetische Kräfte zu begrenzen.

[0027] Wie in **Fig. 2** gezeigt, sind die beiden Hälften **101**, **102** (**Fig. 1**) über Pfosten **330**, **335** verbunden. Die Pfosten **330**, **335** können auf im Wesentlichen gegenüber liegenden Seiten der zentralen Längsachse **305** (**Fig. 2**) angeordnet sein. Vorzugsweise sind die Pfosten **330**, **335** jedoch leicht versetzt (z.B. um etwa 67°), um dem Patienten den Eindruck einer mehr "offenen" Umgebung zu geben und den Zugang zum Patienten (**Fig. 3**) zu erleichtern. Vorzugsweise haben die Pfosten **330**, **335** genügend Starrheit, um den darauf wirkenden axialen Kompressionskräften (z.B. von der erzeugten Magnetkraft und dem Gewicht der MRI-Gerätekomponenten) zu widerstehen, ebenso wie irgendeine Vibration zu begrenzen, die während einer Abbildungsoperation auftreten mag. So hätten beispielsweise die Pfosten **330**, **335** genügend Starrheit, um einer axialen Kompressionskraft von mindestens einer Million Newton für einen 1,2 Tesla-Magneten zu widerstehen. Die beiden Hälften **101**, **102** können Flanschabschnitte einschließen, um die Befestigung verschiedener Spulen/Ringe und/oder Pfosten **330**, **335** zu erleichtern.

[0028] Wie oben erwähnt, werden die Hauptspulen **110**, **115** zum Erzeugen eines Magnetfeldes zum Abbilden eines Volumens bereitgestellt. Die Hauptspulen **110**, **115** können auf einer äußeren Oberfläche der Einzeleinheits-Trägerstruktur, wie gezeigt (**Fig. 1**), angeordnet sein, vorzugsweise in enger Nachbarschaft zu oder angrenzend an die Flanschabschnitte, die die am meisten innen liegenden Abschnitte jeder der beiden Hälften **101**, **102** bilden. Eine solche Konfiguration schafft eine enge Nachbarschaft zwischen den Hauptspulen **110**, **115** und dem abzubildenden Volumen, was die Gleichförmigkeit des hindurchgehenden Magnetfeldes erhöht. Die Hauptspulen **110**, **115** können nach irgendeiner einer Reihe von konventionellen Techniken, wie sie im

Stände der Technik bekannt sind, hergestellt werden. [0029] Die Kompensationsspulen **120**, **125** sind auch auf eine äußeren Oberfläche der Einzeleinheits-Trägerstruktur und relativ zu den Hauptspulen **110**, **115** (wie bereits beschrieben) angeordnet, um äußere Geräte vor dem durch die Hauptspulen **110**, **115** erzeugten Magnetfeld abzuschirmen. Um das MRI-Gerät **100** richtig abzuschirmen, sind die Kompensationsspulen **120**, **125** so konfiguriert, dass sie Polaritäten entgegengesetzt zu der der Hauptspulen **110** bzw. **115** aufweisen. Die Kompensationsspulen **120**, **125** können nach irgendeiner einer Reihe konventioneller Techniken, wie sie im Stande der Technik bekannt sind, hergestellt werden.

[0030] Eisenringe **130**, **135** sind zwischen den Hauptspulen **110**, **115** und den entsprechenden Kompensationsspulen **120**, **125** auf einer äußeren Oberfläche der Einzeleinheits-Trägerstruktur angeordnet, um die Wechselwirkung der Magnetfelder zwischen den Hauptspulen **110**, **115** und den entsprechenden Kompensationsspulen **120**, **125** zu verringern. Wie in **Fig. 2** gezeigt, können zusätzliche Eisenringe **132**, **137** vorgesehen sein, um die Wechselwirkung der Magnetfelder zwischen den Hauptspulen **110**, **115** und den Formspulen **150**, **152**, **153**, **154**, **155**, **156**, **157**, **158** zu verringern. Andere Konfigurationen sind auch möglich, wie dem Fachmann nach dem Lesen dieser Offenbarung ohne Weiteres klar sein wird.

[0031] Die vorerwähnte Konfiguration genügt zum Abbilden eines Volumens mit dem MRI-Gerät. Die Erfinder haben festgestellt, dass die vorerwähnte Konfiguration eine verbesserte Genauigkeit aufgrund verringerter und/oder beseitigter Bearbeitungs-Variationen aufweist und sie einfacher (und somit billiger) herzustellen ist aufgrund der relativ einfachen Gestaltung.

[0032] Um die Genauigkeit des MRI-Gerätes zu verbessern, sind jedoch Feld formende Spulen **150**, **152**, **153**, **154**, **155**, **156**, **157**, **158**, vorzugsweise auf einer inneren Oberfläche der Einzeleinheits-Trägerstruktur vorgesehen (**Fig. 1**). Feld formende Spulen **150**, **152**, **153**, **154**, **155**, **156**, **157**, **158** sind von relativ geringer Größe im Vergleich zu den Hauptspulen **110**, **115** und sie formen das durch die Hauptspulen **110**, **115** erzeugte Feld in dem abzubildenden Volumen. Der Einsatz mehrerer kleiner Formspulen **150**, **152**, **153**, **154**, **155**, **156**, **157**, **158** gestattet dem Gestalter eine verbesserte Gleichmäßigkeit im Magnetfeld gegenüber konventionellen MRI-Geräten. Es sollte klar sein, dass die Formspulen **150**, **152**, **153**, **154**, **155**, **156**, **157**, **158** nicht die gleiche Polarität mit Bezug aufeinander haben müssen.

[0033] Es sollte klar sein, dass **Fig. 1** zwar acht Formspulen zeigt, die vorliegende Erfindung darauf aber nicht beschränkt ist. Die Anzahl der Formspulen kann größer oder kleiner als acht sein.

[0034] Die vorstehende Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung wurde zur Veranschaulichung und Beschreibung gegeben. Sie soll

nicht erschöpfend sein oder die Erfindung auf die offenbarte genaue Form beschränken, und es sind Modifikationen und Variationen im Lichte der obigen Lehren möglich oder bei der Ausführung der Erfindung erwerbbar. Die Ausführungsformen wurden ausgewählt und beschrieben, um die Prinzipien und ihre praktische Anwendung zu erläutern, um dem Fachmann die Benutzung der Erfindung in verschiedenen Ausführungsformen und verschiedenen Modifikationen zu ermöglichen, wie sie bei der vorgesehenen speziellen Anwendung geeignet sind. Der Umfang der Erfindung soll daher durch die beigefügten Ansprüche und deren Äquivalente definiert werden.

Patentansprüche

1. Offenes magnetisches Resonanz-Abbildungs(MRI)-Gerät (**100**), umfassend: mindestens eine Hauptspule (**110**, **115**) zum Erzeugen eines Magnetfeldes zum Abbilden eines Volumens und mindestens eine Formspule (**150**, **152**, **153**, **154**, **155**, **156**, **157**, **158**), wobei die mindestens eine Formspule (**150**, **152**, **153**, **154**, **155**, **156**, **157**, **158**) relativ zu der mindestens einen Hauptspule (**110**, **115**) angeordnet ist, um das Magnetfeld in dem genannten Volumen zu formen.

2. Offenes MRI-Gerät (**100**) nach Anspruch 1, weiter umfassend: eine Einzeleinheits-Trägerstruktur, wobei die mindestens eine Hauptspule (**110**, **115**) auf einer äußeren Oberfläche der Einzeleinheits-Trägerstruktur angeordnet ist und worin die mindestens eine Formspule (**150**, **152**, **153**, **154**, **155**, **156**, **157**, **158**) auf einer inneren Oberfläche der Einzeleinheits-Trägerstruktur angeordnet ist.

3. Offenes MRI-Gerät (**100**) nach Anspruch 2, worin die Einzeleinheits-Trägerstruktur umfasst: eine im Wesentlichen zylindrische Hülle, eine Nabe (**520**, **525**), die entlang einer im Wesentlichen zentralen Achse der zylindrischen Hülle angeordnet ist, und mehrere Anschlussplatten (**530**, **535**), die innerhalb der zylindrischen Hülle angeordnet sind, wobei sich jede der Anschlussplatten (**530**, **535**) radial von der Nabe (**520**, **525**) aus nach außen erstreckt.

4. Offenes MRI-Gerät (**100**) nach Anspruch 3, worin die Einzeleinheits-Trägerstruktur weiter umfasst: mindestens einen Trägerpfosten (**330**, **335**), der zwischen einer ersten Hälfte (**101**) und einer zweiten Hälfte (**102**) der zylindrischen Hülle angeordnet ist.

5. Offenes MRI-Gerät (**100**) nach Anspruch 4, worin der mindestens eine Trägerpfosten an einem Ende an einem Flansch befestigt ist, der auf der ersten Hälfte der zylindrischen Hülle ausgebildet ist, und

an einem entgegengesetzten Ende an einem Flansch befestigt ist, der an der zweiten Hälfte der zylindrischen Hülle ausgebildet ist.

6. Offenes MRI-Gerät (100) nach Anspruch 3, worin mindestens eines von der genannten zylindrischen Hülle, der genannten Nabe (520, 525) und den Anschlussplatten (530, 535) eines von korrosionsbeständigem Stahl, Aluminium und faserverstärkten Verbundmaterialien umfasst.

7. Offenes MRI-Gerät (100) nach Anspruch 2, weiter umfassend:
mindestens einen ferromagnetischen Ring (130, 135), der auf einer äußeren Oberfläche der Einzeleinheits-Trägerstruktur angeordnet ist.

8. Offenes MRI-Gerät (100) nach Anspruch 7, worin der mindestens eine ferromagnetische Ring (130, 135) im Wesentlichen zwischen Spulen mit entgegengesetzten Stromrichtungen angeordnet ist, um Wechselwirkungen zwischen den Spulen mit entgegengesetzten Stromrichtungen abzuschirmen.

9. Offenes MRI-Gerät (100) nach Anspruch 7, worin das MRI-Gerät mindestens vier ferromagnetische Ringe (130, 135) umfasst.

10. Offenes MRI-Gerät (100) nach Anspruch 1, worin das MRI-Gerät (100) mindestens acht Formspulen (150, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158) umfasst.

11. Offenes MRI-Gerät (100) nach Anspruch 1, worin das MRI-Gerät mehrere Formspulen (150, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158) umfasst, wobei mindestens eine der mehreren Formspulen eine magnetische Polarität entgegengesetzt zu einer magnetischen Polarität einer anderen der mehreren Formspulen aufweist.

12. Magnetische Resonanz-Abbildungs(MRI)-Vorrichtung (100) zum Abbilden eines Volumens, umfassend:
mindestens eine Hauptspule (110, 115), die zum Erzeugen eines Magnetfeldes konfiguriert ist, mindestens eine Kompensationsspule (120, 125), die zum Abschirmen der mindestens einen Hauptspule (110, 115) konfiguriert ist, mehrere Formspulen (150, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158) zum Formen des Magnetfeldes in dem Volumen, und mehrere ferromagnetische Ringe (130, 135) zum Abschirmen von Wechselwirkungen zwischen Spulen entgegengesetzter Polarität, wobei mindestens einer der mehreren ferromagnetischen Ringe (130, 135) zwischen der mindestens einen Hauptspule (110, 115) und der mindestens einen Kompensationsspule (120, 125) angeordnet ist.

13. MRI-Vorrichtung (100) nach Anspruch 12, weiter umfassend:
eine Einzeleinheits-Trägerstruktur zum Tragen der mindestens einen Hauptspule (110, 115), der mindestens einen Kompensationsspule (120, 125), der mehreren Formspulen (150, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158) und der mehreren ferromagnetischen Ringe (130, 135).

14. MRI-Vorrichtung (100) nach Anspruch 13, worin die Einzeleinheits-Trägerstruktur umfasst:
eine im Wesentlichen zylindrische Hülle, eine Nabe (520, 525), die entlang einer im Wesentlichen zentralen Achse der zylindrischen Hülle angeordnet ist, und mehrere Anschlussplatten (530, 535), die innerhalb der zylindrischen Hülle angeordnet sind, wobei sich jede der Anschlussplatten (530, 535) radial von der Nabe (520, 525) aus nach außen erstreckt.

15. Magnetische Resonanz-Abbildungs(MRI)-Vorrichtung (100) zum Abbilden eines Volumens, umfassend:
eine Einrichtung zum Erzeugen eines Magnetfeldes (110, 115) zum Abbilden des Volumens, eine Einrichtung zum Abschirmen (120, 125) der Einrichtung zum Erzeugen und eine Einrichtung zum Formen des Magnetfeldes (150, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158).

16. MRI-Vorrichtung (100) nach Anspruch 15, weiter umfassend:
eine Einrichtung zum Tragen der Einrichtung zum Erzeugen (110, 115), der Einrichtung zum Abschirmen (120, 125) und der Einrichtung zum Formen (150, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158),

17. MRI-Vorrichtung (100) nach Anspruch 15, weiter umfassend:
eine Einrichtung (130, 135) zum Abschirmen von Wechselwirkungen zwischen Spulen entgegengesetzter Polarität.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

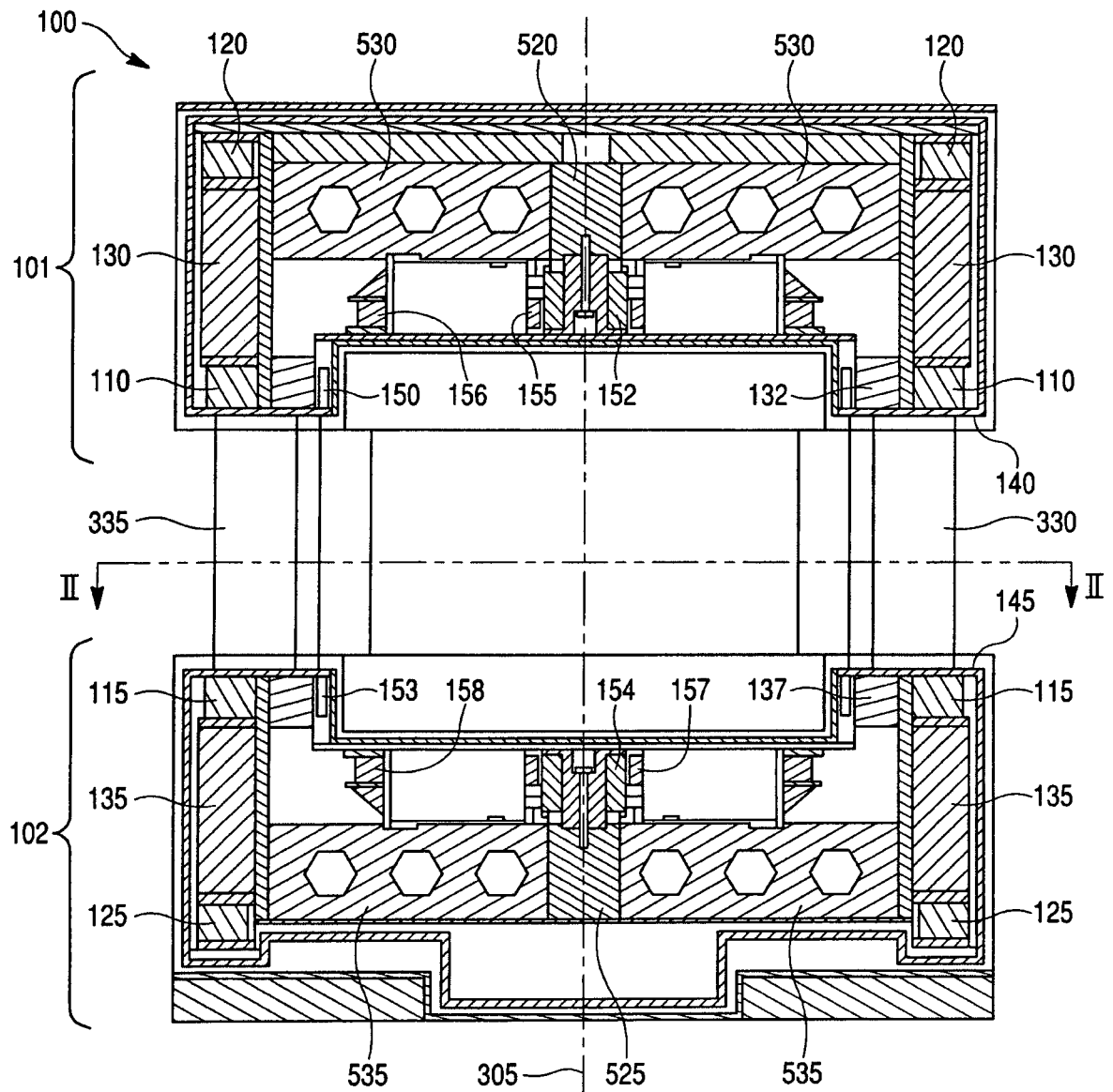


Fig. 2

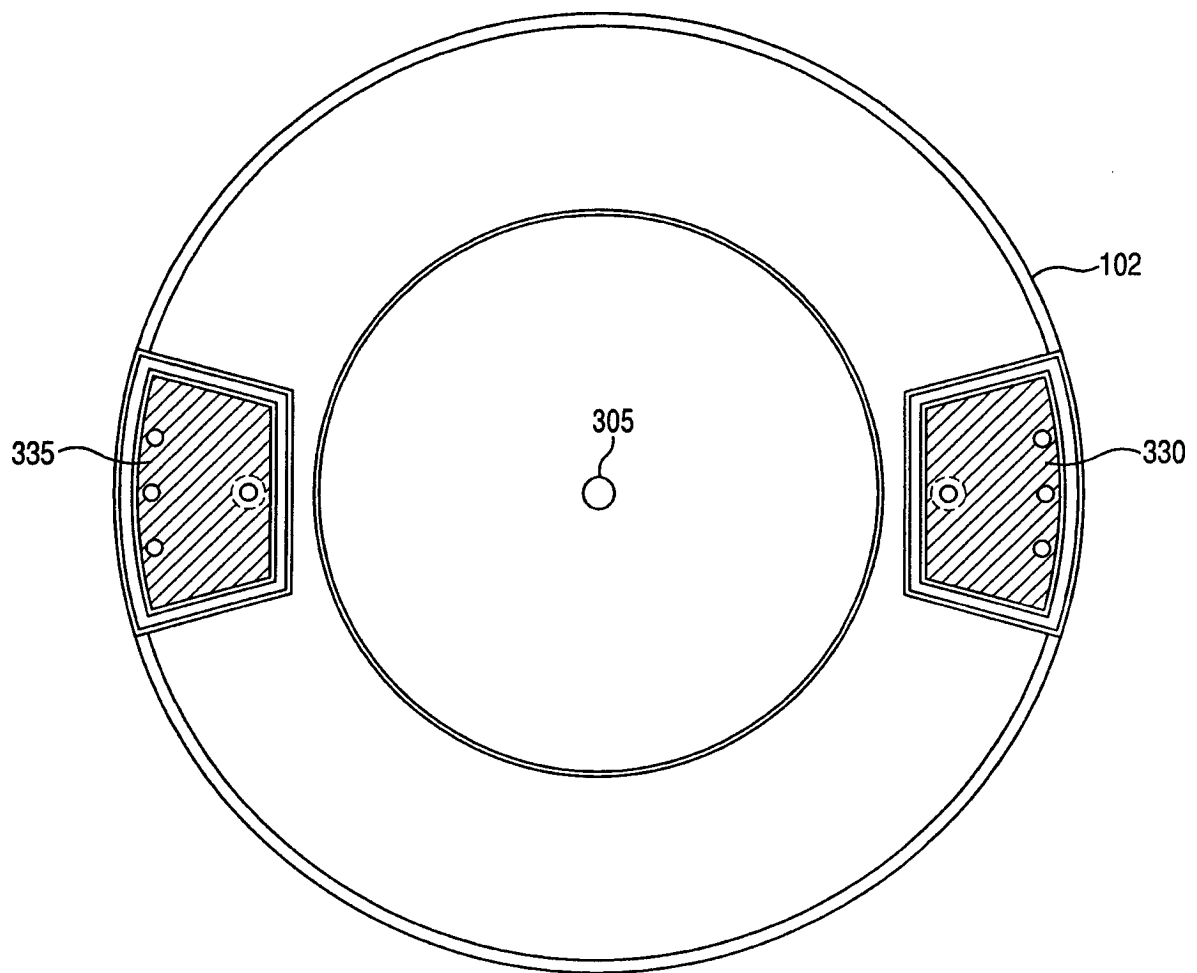


Fig. 3

