



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 103 57 889 A1 2004.07.29

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 103 57 889.7

(51) Int Cl.⁷: G01R 33/3815

(22) Anmeldetag: 11.12.2003

G01R 33/421, G01R 33/387

(43) Offenlegungstag: 29.07.2004

(30) Unionspriorität:
248169 23.12.2002 US

(74) Vertreter:
Sieb, R., Dipl.-Chem. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 69514
Laudenbach

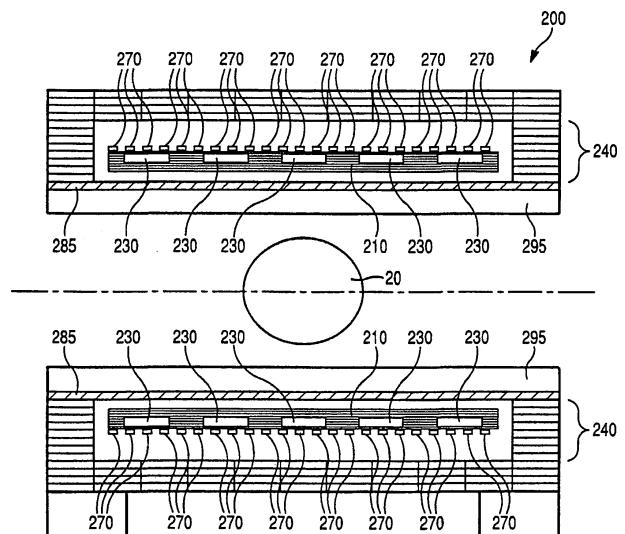
(71) Anmelder:
General Electric Co., Schenectady, N.Y., US

(72) Erfinder:
Laskaris, Evangelos, Schenectady, N.Y., US;
Huang, Xianrui, Clifton Park, N.Y., US; Ogle,
Michele Dollar, Burnt Hills, N.Y., US

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: Leitungs-gekühlter, passiv abgeschirmter MRI-Magnet

(57) Zusammenfassung: Ein Magnetresonanz-Abbildungs(MRI)-Gerät (200) zum Abbilden eines Volumens (20) ist mit mindestens einem Hauptmagneten (230) zum Erzeugen eines Magnetfeldes und mindestens einer Gradientenspule (50) zum Manipulieren des durch den mindestens einen Hauptmagneten (230) erzeugten Magnetfeldes zum Abbilden des Volumens (20) versehen. Die durch die mindestens eine Gradientenspule (50) erzeugten Magnetfelder sind im Wesentlichen unabgeschirmt.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf Magnetresonanz-Abbildungs(MRI)-Geräte und mehr im Besonderen auf MRI-Geräte, die mindestens eine Gradientenspule zum Manipulieren des magnetischen Feldes einschließen, das durch den MRI-Magneten erzeugt wird, wobei die durch die Gradientenspule erzeugten Magnetfelder im Wesentlichen magnetisch unabgeschirmt sind.

Stand der Technik

[0002] MRI-Geräte werden in der Medizin in weitem Rahmen als ein diagnostisches Gerät zum Abbilden von Gegenständen, wie Gewebe- und Knochen-Strukturen, eingesetzt. Konventionelle MRI-Geräte sind, z.B., in den US-PSn 5,225,782; 5,285,281 und 5,304,934 beschrieben, die in ihrer Gesamtheit durch Bezugnahme hier aufgenommen werden.

[0003] Wie in **Fig. 1** gezeigt, benutzen bekannte supraleitende(SL) MRI-Geräte **10** typischerweise Wicklungen **30** zum Erzeugen eines homogenen Magnetfeldes in einem Abbildungs-Volumen **20**, wobei die Wicklungen **30** in flüssigem Helium betrieben werden, um die Temperatur von etwa 4°K aufrechtzuerhalten. Das Bad aus flüssigem Helium erfordert ein Gefäß **40**, das vakuumdicht ist und die Druckkessel-Anforderungen der American Society of Mechanical Engineering (ASME) erfüllt; ein solches Gefäß **40** ist typischerweise aus geschweißten Aluminiumlegierungs-Zylindern und -Flanschen hergestellt. Thermische (nicht gezeigte) Strahlungs-Abschirmungen, von denen typischerweise zwei benutzt werden, sind ebenfalls aus geschweißten Aluminium-Stücken hergestellt und sie enthalten das Heliumgefäß **40**.

[0004] Werden die Gradientenspulen **50** in der Bohrung des MRI-Gerätes **10** mit elektrischen Impulsen versehen, dann induziert der resultierende, sich mit der Zeit ändernde Magnetfluss in jedem der elektrisch leitenden Zylinder, die die Gradientenspulen umgeben, Wirbelströme. Diese Wirbelströme ihrerseits erzeugen ihre eigenen Magnetfelder, die die Qualität des erwünschten Gradientenfeldes im Raum und in der Zeit beeinträchtigen. Ein zweiter Satz von Gradientenspulen **60** (d.h., Abschirmungs-Gradientenspulen) in der Magnetbohrung kompensieren die aggressiven Impuls-Sequenzen, die heutzutage routinemäßig beim MR-Abilden benutzt werden. Diese Abschirmungs-Gradientenspulen **60** bauen Felder auf, die denen der Hauptgradientenspule **50** in der Region außerhalb der Abschirmungsspule **60** entgegenwirken, was die gegenseitige Induktanz mit leitenden Teilen, wie den thermischen Abschirmungen, stark vermindert und die resultierenden Wirbelströme minimiert. Die Erfinder haben gefunden, dass bei einer typischen Ausführungsform die Abschirmungs-Spulen **60** im Allgemeinen etwa 50% des durch die Gradientenspulen **50** produzierten Magnetfeldes beseitigen.

[0005] Es besteht jedoch ein Bedarf an einem MRI-Gerät **10**, das die Menge der resultierenden Wirbelströme, die durch die Gradientenspulen **50** im MRI-Gerät **10** erzeugt werden, in Systemen ohne die Abschirmungs-Spulen **60** reduziert, oder in Systemen mit Abschirmungsspulen die Menge der resultierenden Wirbelströme im MRI-Gerät weiter vermin- dert.

Aufgabenstellung

[0006] KURZE ZUSAMMENFASSUNG DER ER- FINDUNG Die vorliegende Erfindung ist auf das Ver- ringern oder Beseitigen eines oder mehrerer der vor- stehenden Probleme und anderer im Stande der Technik vorhandener Probleme gerichtet.

[0007] Gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Magnetresonanz-Abbil- dungs(MRI)-Gerät zum bilden eines Volumens mit mindestens einem Hauptmagneten zum Erzeugen eines Magnetfeldes und mindestens einer Gradi- entenspule zum Manipulieren des Magnetfeldes, das durch den mindestens einen Hauptmagneten erzeugt wird, versehen, um das Volumen abzubilden, wobei die durch die mindestens eine Gradientenspule er- zeugten Magnetfelder im Wesentlichen unab- geschirmt sind.

[0008] Vorzugsweise umfasst der Hauptmagnet mindestens eine supraleitende Spule, die bei tiefsten bzw. kryogenen Temperaturen betrieben wird. Bevor- zugter umfasst der Hauptmagnet weiter mindestens ein Kühlrohr, das an supraleitenden Spulenschichten anliegt, wobei das Kühlrohr mit einem Tiefstkühler-Wärmeaustauscher gekoppelt ist.

[0009] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Er- findung kann der Hauptmagnet ein Verbund-Vaku- umgefäß einschließen, das die mindestens eine su- praleitende Spule umhüllt, wobei das Verbund-Vaku- umgefäß aus einem Material besteht, in dem Wirbel- ströme durch die durch die mindestens eine Gradi- entenspule erzeugten Magnetfelder im Wesentlichen nicht induziert werden.

[0010] Gemäß einem anderen Aspekt der vorlie- genden Erfindung ist der Hauptmagnet induktiv von der Gradientenspule isoliert.

[0011] Gemäß einem anderen Aspekt der vorlie- genden Erfindung umfasst das MRI-Gerät weiter mindestens einen gekühlten thermischen Ausbreiter bzw. Zerstreuer. Vorzugsweise umfasst der gekühlte thermische Ausbreiter mindestens eine gekühlte thermische Abschirmung und einen gekühlten Spu- lenbildner, auf die eine supraleitende Spule gewickelt ist. Der gekühlte Spulenbildner umfasst vorzugswei- se ein Verbundmaterial, das Fiberglas, Epoxymate- rial und Kupferdraht einschließt.

[0012] Gemäß einem anderen Aspekt der vorlie- genden Erfindung umfasst das MRI-Gerät weiter ei- nen Tiefstkühler-Wärmeaustauscher, der thermisch mit dem mindestens einen Magneten gekoppelt ist, und eine Tiefstkühlvorrichtung zum Kühlen eines

Kühlmediums, das durch den Tiefstküller-Wärmeaustauscher benutzt wird. Vorzugsweise ist die Tiefstküllervorrichtung im Wesentlichen außerhalb der Magnetfelder angeordnet, die durch die mindestens eine Gradientenspule erzeugt werden. Das Kühlmedium kann eines von flüssigem Helium, flüssigem Wasserstoff, flüssigem Stickstoff und flüssigem Neon umfassen.

[0013] Gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung umfasst die Gradienspule mehrere Epoxy-Glas-Schichten und mehrere isolierte Kupferdraht-Schichten.

[0014] Gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung umfasst das MRI-Gerät weiter mindestens eine passive Abschirmung zum passiven Abschirmen eines externen Rand-Magnetfeldes des mindestens einen Magneten, wobei die mindestens eine passive Abschirmung aus mehreren laminierten magnetisierbaren Ringen zusammengesetzt ist. Die mehreren laminierten Ringe unterdrücken Wirbelströme, die innerhalb der mindestens einen passiven Abschirmung erzeugt werden.

[0015] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Magnetresonanz-Abbildungs(MRI)-Gerät zum Abbilden eines Volumens bereitgestellt, umfassend eine Einrichtung zum Erzeugen eines Hauptmagnetfeldes und eine Einrichtung zum Manipulieren des Hauptmagnetfeldes zum Abbilden des Volumens, wobei die Einrichtung zum Manipulieren Magnetfelder erzeugt, die im Wesentlichen unabgeschirmt sind.

[0016] Gemäß einem Aspekt der Erfindung umfasst das MRI-Gerät weiter eine Einrichtung zum Tiefst kühlen der Einrichtung zum Erzeugen eines Hauptmagnetfeldes, ohne wesentlich Wirbelströme innerhalb der Einrichtung zum Tiefste kühlen zu induzieren.

[0017] Gemäß einem anderen Aspekt der vorliegenden Erfindung umfasst das MRI-Gerät weiter eine Einrichtung zum passiven Abschirmen der Einrichtung zum Erzeugen eines Hauptmagnetfeldes.

[0018] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Magnetresonanz-Abbildungs(MRI)-System bereitgestellt, umfassend einen supraleitenden Magneten zum Erzeugen eines Magnetfeldes zum Abbilden eines Volumens, eine unabgeschirmte Gradientenspule zum Manipulieren des Magnetfeldes und ein Tiefstküller-System, das thermisch mit dem supraleitenden Magneten gekoppelt ist.

[0019] Gemäß einem Aspekt der vorliegenden Erfindung umfasst das Tiefstküller-System einen Tiefstküller-Wärmeaustauscher, der thermisch mit dem supraleitenden Magneten gekoppelt ist, und eine Tiefstküllervorrichtung zum Kühleneines Kühlmediums, das von dem Tiefstküller-Wärmeaustauscher benutzt wird. Vorzugsweise ist die Tiefstküllervorrichtung außerhalb des supraleitenden Magneten angeordnet.

[0020] Gemäß einer anderen Ausführungsform der

vorliegenden Erfindung wird ein Magnetresonanz-Abbildungs(MRI)-Gerät zum Abbilden eines Volumens bereitgestellt, umfassend mindestens eine supraleitende Spule, die bei tiefsten Temperaturen zum Erzeugen eines Magnetfeldes betrieben wird, und mindestens eine Gradientenspule zum Manipulieren des durch den mindestens eines Hauptmagneten erzeugten Magnetfeldes zum Abbilden des Volumens. Die mindestens eine supraleitende Spule schließt mindestens ein Kühlrohr ein, das an supraleitenden Spulenschichten anliegt, wobei das mindestens eine Kühlrohr mit einem Tiefstküller-Wärmeaustauscher gekoppelt ist.

[0021] Gemäß einer anderen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Magnetresonanz-Abbildungs(MRI)-Gerät zum Abbilden eines Volumens bereitgestellt, umfassend den mindestens einen Magneten zum Erzeugen eines Magnetfeldes, mindestens eine Gradientenspule zum Manipulieren des durch den mindestens einen Hauptmagneten erzeugten Magnetfeldes zum Abbilden des Volumens und mindestens einen gekühlten thermischen Ausbreiter. Der gekühlte thermische Ausbreiter umfasst mindestens eine gekühlte thermische Abschirmung und einen gekühlten Spulenbildner, auf den der mindestens eine Hauptmagnet gewickelt ist.

Ausführungsbeispiel

[0022] **Fig. 1** ist eine Querschnittsansicht eines bekannten (Prior Art) MRI-Gerätes.

[0023] **Fig. 2** ist eine Querschnittsansicht eines MRI-Gerätes gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0024] **Fig. 3** ist eine vergrößerte Ansicht eines Abschnittes eines gekühlten Spulenbildners gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0025] **Fig. 4** ist eine Endansicht eines MRI-Gerätes gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0026] **Fig. 5** ist eine Querschnittsansicht einer zylindrischen gekühlten thermischen Abschirmung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

[0027] **Fig. 6** ist eine Querschnittsansicht eines MRI-Gerätes mit sowohl einem gekühlten Spulenbildner als auch einer zylindrischen gekühlten thermischen Abschirmung gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0028] Es wird nun detailliert Bezug genommen auf derzeit bevorzugte Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung Wo immer möglich, werden gleiche Bezugsziffern in allen Figuren benutzt, um gleiche oder ähnliche Teile zu bezeichnen.

[0029] Die Verringerung von Wirbelströmen gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung

kann bewerkstelligt werden durch Benutzung Wirbelstrom-freier Komponenten in dem MRI-Gerät **200**. Solche Wirbelstrom-freien Komponenten können benutzt werden, irgendwelche erzeugten Restwirbelströme zu beseitigen oder zu verringern, da derzeitige Abschirmungsspulen noch immer etwa 50% des durch die Gradientenspulen erzeugten Magnetfeldes gestatten. Beispielsweise können Wirbelstrom-freie Komponenten als Teil eines gekühlten thermischen Ausbreiters, wie einer gekühlten thermischen Abschirmung, oder eines gekühlten Spulenbildners eingesetzt werden. Andere Komponenten können auch vollständig oder teilweise aus Wirbelstromfreien/beständigen Materialien hergestellt sein.

[0030] Ein solcher MRI-Magnet **200** ist im Blockdiagramm von **Fig. 2** gezeigt. Gemäß dieser Ausführungsform ist ein konvektions-gekühlter Thermosyphon- bzw. Wärmesaugheber-Spulenbildner **210** mit dem Haupt-MRI-Magneten (d.h., supraleitenden Spulen **230**) zum thermischen Abschirmen und/ oder zum Kühlen des Haupt-MRI-Magneten versehen. Vorzugsweise ist der Spulenbildner **210** aus einem Verbundmaterial hergestellt, das ein Epoxy-Glas-Kupferdraht-Verbundmaterial umfasst; es könnten jedoch auch andere Materialien, wie durch Ersetzen von Kupfer durch Aluminium usw., benutzt werden. Es sollte daher klar sein, dass der Spulenbildner **210** (und der thermische Abschirmungs-Zylinder **810** in den **Fig. 5** und **6**) vorzugsweise aus einem Material hergestellt ist, in dem Wirbelströme während des Betriebes der unabgeschirmten Gradientenspulen **295** im Wesentlichen nicht erzeugt werden. Die Bohrung **285** des Vakuumgefäßes ist auch aus im Wesentlichen Wirbelstrom-freien Materialien hergestellt.

[0031] Wie in den **Fig. 2**, und **3** gezeigt, sind ein oder mehrere Kühlrohre **270** auf dem Spulenbildner **210** montiert. Wie in den **Fig. 5** und **6** gezeigt, können in ähnlicher Weise ein oder mehrere Kühlrohre **270** auch auf der thermischen Abschirmung **810** (falls vorhanden) montiert sein. Vorzugsweise sind die Kühlrohre **270** im Wesentlichen um den Spulenbildner **210** und/oder den thermischen Abschirmungs-Zylinder **810** gewickelt.

[0032] Die Kühlrohre **270** sind so konfiguriert, dass sie um den Spulenbildner **210** und/oder den thermischen Abschirmungszyliner **810** ein Kühlmedium leiten (z.B. flüssiges Helium, flüssigen Wasserstoff, flüssigen Stickstoff, flüssiges Neon usw.) und dadurch den Spulenbildner **210** und/oder den thermischen Abschirmungszyliner **810** kühlen, wobei das ausgewählte Kühlmedium eine geringere Temperatur aufweist als die kritische Supraleiter-Temperatur, die durch die Kombination der Stromdichte und des Magnetfeldes gefordert ist, bei denen der Supraleiter arbeitet. Die Kühlrohre **270** sind mit einem Tiefstkühlvorrichtung **280** (**Fig. 4**) über einen (nicht gezeigten) Kühlmittel-Stömungskreislauf gekoppelt. Es sollte klar sein, dass die Größe und Anzahl der Rohre der Kühlrohre **270** von vielen Wärmeübertragungsde-

sign-Einzelheiten abhängt, die Gesamtgröße, Strömungsrate und -widerstand, Materialien und die Wärmelastung des MRI-Gerätes **200** einschließen, darauf jedoch nicht beschränkt.

[0033] Das Kühlen erfolgt durch Zirkulieren des Kühlmediums durch das MRI-Gerät **200**, wobei das kalte Kühlmedium mit dem Spulenbildner **210** und/oder thermischen Abschirmungszyliner **810** über die Kühlrohre **270** im Wärmeaustausch steht und bei einer höheren Temperatur zur Tiefstkühlvorrichtung **280** zurückkehrt. Da bekannte Tiefstkühlvorrichtungs-Designs hinsichtlich der anwendbaren Materialarten teilweise aufgrund der extremen thermischen Betriebsbedingungen beschränkt sind, ist die Verwendung nichtmetallischer "Wirbelstrom-freier" Materialien ebenfalls beschränkt. Der Tiefstkühlvorrichtung **280** ist daher vorzugsweise außerhalb des MRI-Gerätes **200** angeordnet, wie in **Fig. 4** gezeigt. Dies isoliert die Tiefstkühlvorrichtung **280** von den fluktuierenden elektrischen und magnetischen Feldern, die durch das MRI-Gerät **200** erzeugt werden, was die Erzeugung von Wirbelströmen innerhalb der Tiefstkühlvorrichtung **280** verhindert. Die Strömungsmittel-Zirkulation kann unter Benutzung des Unterschiedes in den Gravitationskräften zwischen dem kalten und warmen Ende oder alternativ mittels einer (nicht gezeigten) Pumpe erzeugt werden.

[0034] Kühlmedium-Behälter **940** wird zum Lagern des für den Betrieb benötigten flüssigen Kühlmediums benutzt. Um irgendwelche erzeugten Wirbelströme zu minimieren, ist der Behälter **940** vorzugsweise aus einer dünnen Hülle aus korrosionsbeständigem Stahl zur Bildung der Druckgrenze und einer Fiberglas-Verbundstruktur zusammengesetzt, die um den korrosionsbeständigen Stahl gewickelt ist, um die Drucklast abzustützen. Einzelheiten des in **Fig. 4** gezeigten Kühlkopfes **930** hängen von der speziellen Ausführungsform ab.

[0035] In der vorerwähnten Konfiguration werden weniger Wirbelströme durch Bewegen eines Teiles des Tiefstkühlvorrichtung-Systems (z.B. der Tiefstkühlvorrichtung **280**) nach außerhalb des MRI-Magneten **200** und durch Benutzen nicht-metallischer Materialien (z.B. Verbundmaterialien) für mindestens einige der MRI-Komponenten erzeugt. Die verminderte Wirbelstrom-Erzeugung gestattet die Beseitigung der Abschirmungs-Gradientenspulen **60** (**Fig. 1**) oder weiter verminderte Wirbelströme in Konfigurationen mit Abschirmungs-Gradientenspulen **60**. Es kann daher irgendeines der vorerwähnten Merkmale oder eine Kombination davon benutzt werden, um ein bekanntes MRI-Gerät **10** zu verbessern.

[0036] Die vorstehende Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung wurde zur Veranschaulichung und Beschreibung gegeben. Sie soll nicht erschöpfend sein oder die Erfindung auf die offenbare genaue Form beschränken und es sind Modifikationen und Variationen im Lichte der obigen Lehren möglich oder können aufgrund der Ausführung der Erfindung gefunden werden. Die Ausfüh-

rungsformen wurden zur Erläuterung der Prinzipien der Erfindung und ihrer praktischen Anwendung ausgewählt und beschrieben, um dem Fachmann die Benutzung der Erfindung in verschiedenen Ausführungsformen und mit verschiedenen Modifikationen zu ermöglichen, wie sie für die vorgesehene spezielle Anwendung geeignet sind. Es ist beabsichtigt, dass der Umfang der Erfindung durch die beigefügten Ansprüche und ihre Äquivalente definiert ist.

Patentansprüche

1. Magnetresonanz-Abbildungs(MRI)-Gerät (200) zum Abbilden eines Volumens (20), umfassend:

mindestens einen Hauptmagneten (230) zum Erzeugen eines Magnetfeldes und
mindestens eine Gradientenspule (50) zum Manipulieren des durch den mindestens einen Hauptmagneten (230) erzeugten Magnetfeldes zum Abbilden des Volumens (20),
wobei die durch die mindestens eine Gradientenspule (50) erzeugten Magnetfelder im Wesentlichen ungeschirmt sind.

2. MRI-Gerät (200) nach Anspruch 1, worin der mindestens eine Hauptmagnet (230) umfasst: mindestens eine supraleitende Spule, die bei tiefsten Temperaturen betrieben wird.

3. MRI-Gerät (200) nach Anspruch 2, worin der mindestens eine Hauptmagnet (230) weiter umfasst: mindestens ein Kühlrohr (270), das an supraleitenden Spulenbeschichten anliegt, wobei das mindestens eine Kühlrohr (230) mit einem Tiefstkühler-Wärmeaustauscher (280) gekoppelt ist.

4. MRI-Gerät (200) nach Anspruch 2, worin der mindestens eine Hauptmagnet (230) weiter umfasst: ein Verbund-Vakuumgefäß (240), das die mindestens eine supraleitende Spule umhüllt, wobei das Verbund-Vakuumgefäß (240) aus einem Material gebildet ist, in dem durch die Magnetfelder, die durch die mindestens eine Gradientenspule (50) erzeugt werden, im Wesentlichen keine Wirbelströme induziert werden.

5. MRI-Gerät (200) nach Anspruch 1, worin der mindestens eine Hauptmagnet (230) im Wesentlichen frei von Wirbelströmen ist, die durch die Magnetfelder induziert werden, die durch die mindestens eine Gradientenspule (50) erzeugt werden.

6. MRI-Gerät (200) nach Anspruch 1, weiter umfassend: mindestens einen gekühlten Wärmeausbreiter, wobei der mindestens eine gekühlte Wärmeausbreiter eines von:
einer gekühlten Wärmeabschirmung (810) und
einen gekühlten Spulenbildner (210), auf den die supraleitende Spule gewickelt ist, umfasst.

7. MRI-Gerät (200) nach Anspruch 6, worin der gekühlte Spulenbildner (210) ein Verbundmaterial, das Fiberglas, Epoxymaterial und Kupferdraht einschließt, und mindestens ein Kühlrohr (270) umfasst, das um den Spulenbildner (210) gewickelt ist, wobei das mindestens eine Kühlrohr (270) mit einem Tiefstkühler-Wärmeaustauscher (280) gekoppelt ist.

8. MRI-Gerät (200) nach Anspruch 6, worin die mindestens eine gekühlte Wärmeabschirmung (810) umfasst: einen Abschirmungs-Zylinder (810) und mindestens ein Kühlrohr (270), das um den Abschirmungs-Zylinder (810) gewickelt ist, wobei das mindestens eine Kühlrohr (270) mit einem Tiefstkühler-Wärmeaustauscher (280) gekoppelt ist.

9. MRI-Gerät (200) nach Anspruch 8, worin der Abschirmungs-Zylinder (810) umfasst: ein Epoxy-Glas-Kupferdraht-Verbundmaterial.

10. MRI-Gerät (200) nach Anspruch 1, weiter umfassend einen Tiefstkühler-Wärmeaustauscher (280), der thermisch mit dem mindestens einen Magneten (230) gekoppelt ist, und einen Tiefstkühlvorrichtung (280) zum Kühlen eines Kühlmediums, das von dem Tiefstkühler-Wärmeaustauscher (280) benutzt wurde, worin die Tiefstkühlvorrichtung (280) im Wesentlichen außerhalb der durch die mindestens eine Gradientenspule (50) erzeugten Magnetfelder angeordnet ist.

Es folgen 6 Blatt Zeichnungen

Fig. 1
Prior Art

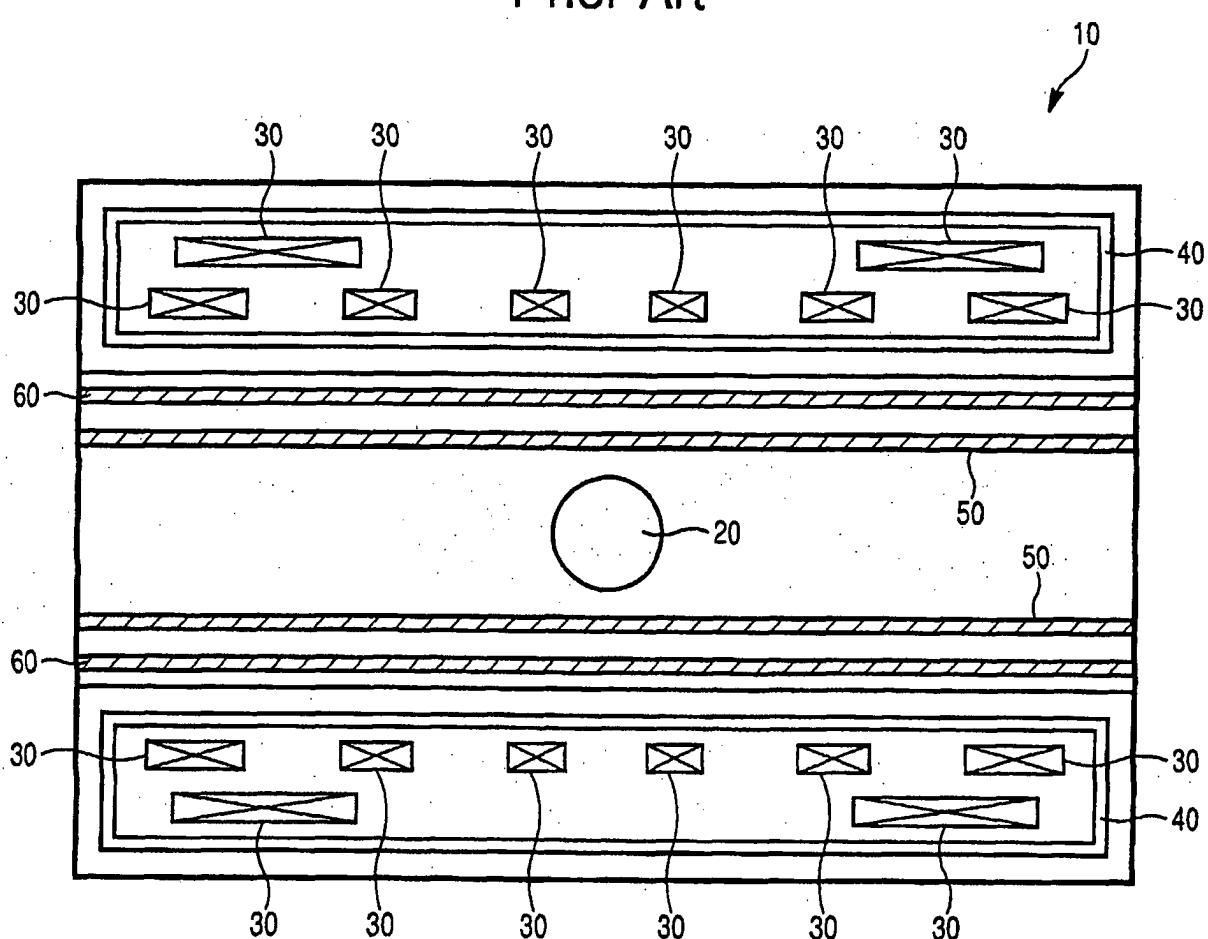


Fig. 2

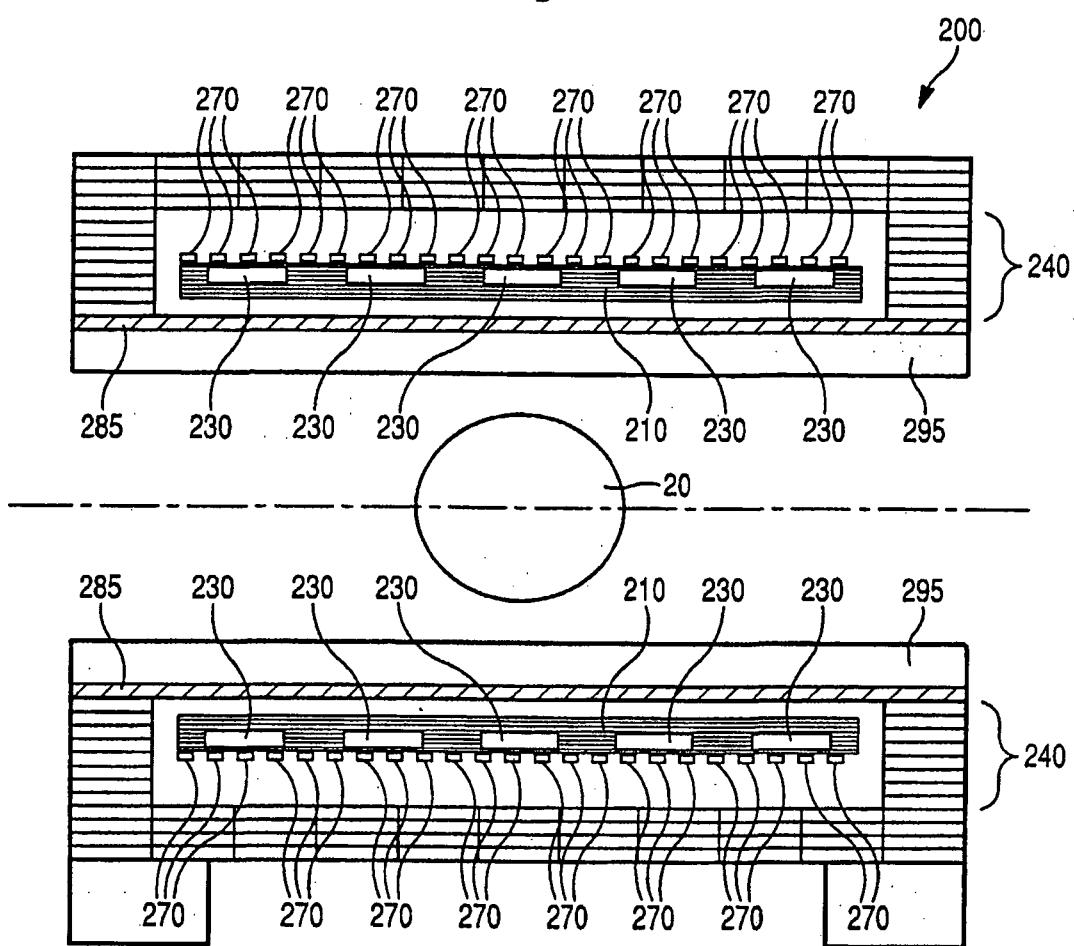


Fig. 3

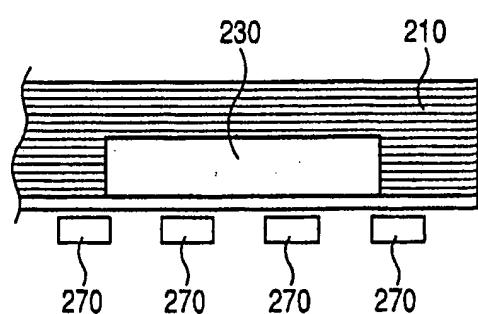


Fig. 4

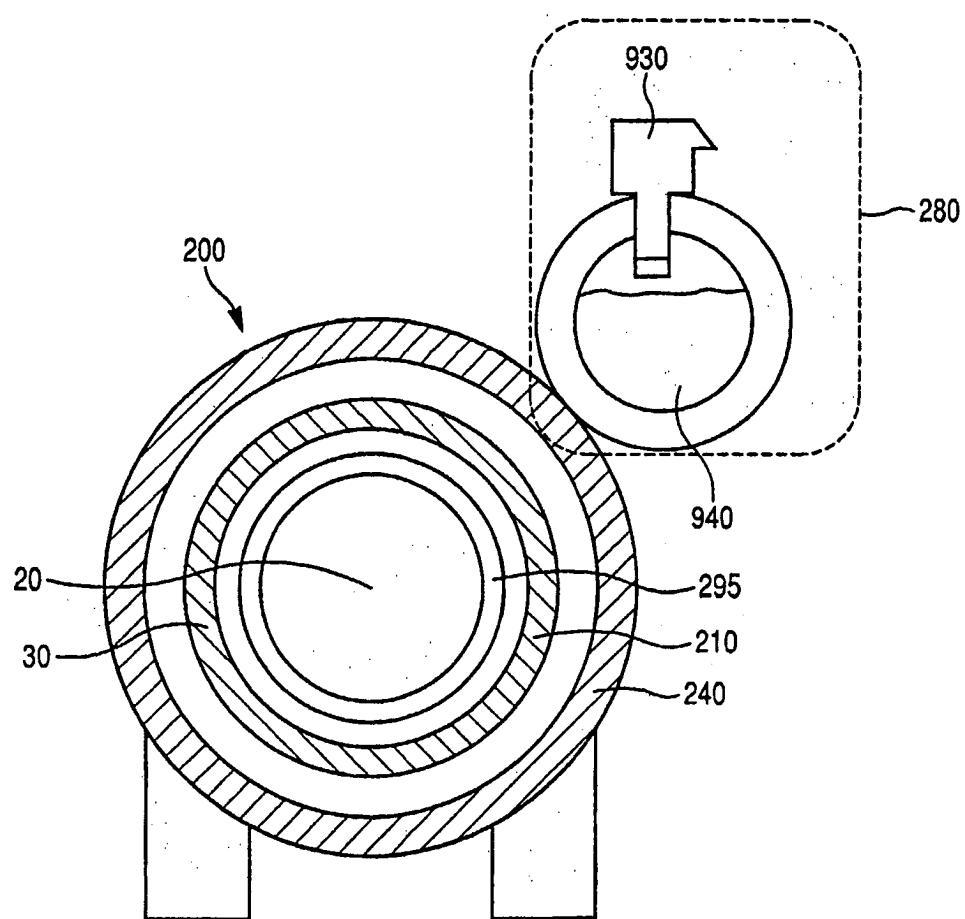


Fig. 5

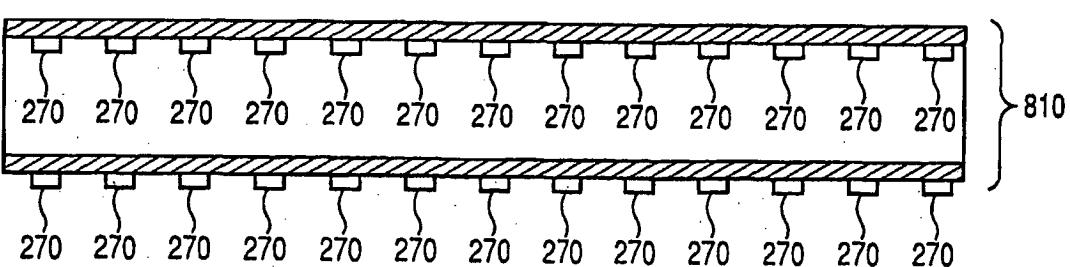
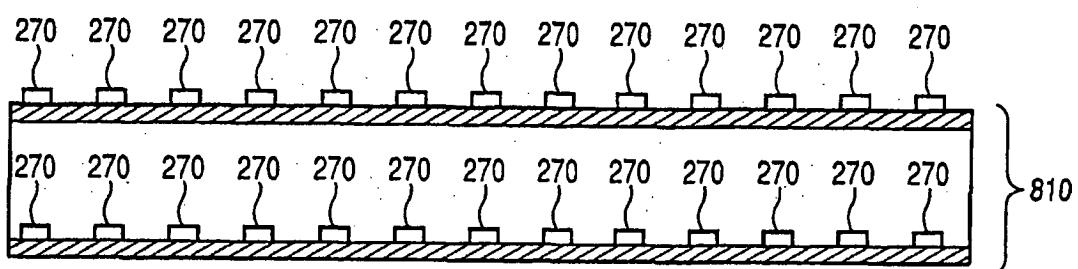


Fig. 6

