



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2013112893/28, 19.08.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
19.08.2011

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:  
25.08.2010 EP 10173946.4

(43) Дата публикации заявки: 27.09.2014 Бюл. № 27

(45) Опубликовано: 20.01.2016 Бюл. № 2

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 5061897 29.10.1991. US 5583439 10.12.1996. US 2008164876 10.07.2008. RU 2008143402 18.10.2007. US 5349297 20.09.1994. EP 0430104 15.04.1998.

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 25.03.2013

(86) Заявка РСТ:  
IB 2011/053658 (19.08.2011)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2012/025860 (01.03.2012)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Большая Спасская, д. 25,  
строение 3, "Городисский и партнеры"

(72) Автор(ы):

**ХАМ Корнелис Леонардус Герардус (NL),  
МЮЛДЕР Герардус Бернадус Йозеф (NL)**

(73) Патентообладатель(и):

**КОНИНКЛЕЙКЕ ФИЛИПС  
ЭЛЕКТРОНИКС Н.В. (NL)**

**(54) РАДИОЧАСТОТНЫЙ ЭКРАН ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ МАГНИТНО-РЕЗОНАНСНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ВКЛЮЧАЮЩИЙ В СЕБЯ ПРОВОДЯЩЕЕ ПОКРЫТИЕ В КАЧЕСТВЕ ЭКРАНИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА**

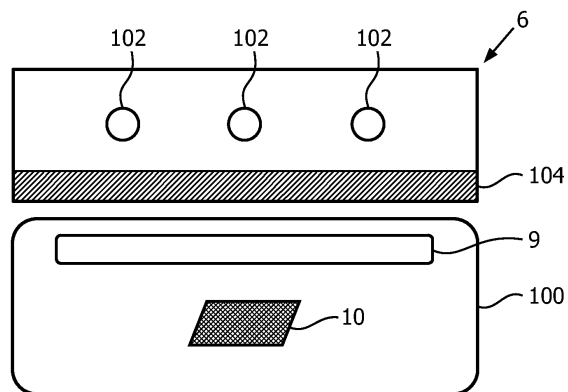
(57) Реферат:

Использование: для формирования магнитно-резонансных изображений. Сущность изобретения заключается в том, что изобретение относится к системе (1) формирования магнитно-резонансных изображений, включающей в себя: главный магнит (2) для создания равномерного, устойчивого магнитного поля в исследуемом объеме, по меньшей мере одну радиочастотную антенну (9) для передачи радиочастотных импульсов к исследуемому объему для возбуждения магнитного спинового резонанса, блок градиентных катушек, содержащий

градиентные катушки (4, 5, 6) для создания градиентных магнитных полей в исследуемом объеме (100), радиочастотный экран (104), расположенный между указанной радиочастотной антенной (9) и указанными градиентными катушками (4, 5, 6), причем радиочастотный экран (104) содержит экранирующий материал, адаптированный для подавления вихревых токов, индуцированных в экране указанными градиентными магнитными полями, и для экранирования градиентных катушек (4, 5, 6) от радиочастотных полей, порождаемых

радиочастотной антенной (9), при этом радиочастотный экран содержит проводящее покрытие (104, 110) в качестве экранирующего материала. Технический результат: защита с

использованием радиочастотных щитов для экранирования градиентных катушек от радиочастотных полей и эффективное подавление развития вихревых токов. 2 н. и 12 з.п. ф-лы, 4 ил.



Фиг. 2

RU 2572752 94966 C2

RU 2572646 C2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

**(12) ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2013112893/28, 19.08.2011**

(24) Effective date for property rights:  
**19.08.2011**

Priority:

(30) Convention priority:  
**25.08.2010 EP 10173946.4**

(43) Application published: **27.09.2014** Bull. № 27

(45) Date of publication: **20.01.2016** Bull. № 2

(85) Commencement of national phase: **25.03.2013**

(86) PCT application:  
**IB 2011/053658 (19.08.2011)**

(87) PCT publication:  
**WO 2012/025860 (01.03.2012)**

Mail address:

**129090, Moskva, ul. Bol'shaja Spasskaja, d. 25,  
stroenie 3, "Gorodisskij i partnery"**

(72) Inventor(s):

**KhAM Kornelis Leonardus Gerardus (NL),  
MJuLDER Gerardus Bernardus Jozef (NL)**

(73) Proprietor(s):

**KONINKLEJKE FILIPS EhLEKTRONIKS  
N.V. (NL)**

**(54) RADIO-FREQUENCY SHIELD FOR MAGNETIC-RESONANCE IMAGING COMPRISING CONDUCTIVE COATING AS SHIELDING MATERIAL**

(57) Abstract:

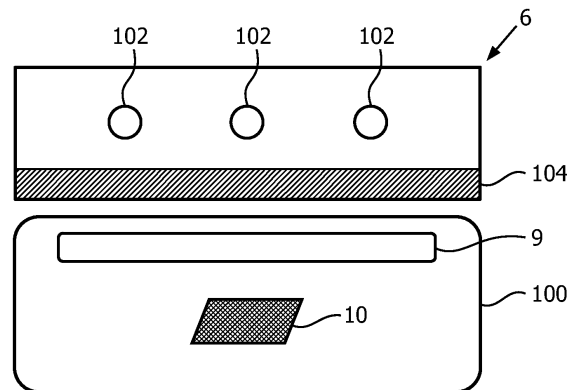
FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention relates to a magnetic resonance imaging system (1) comprising: a main magnet (2) for generating a uniform, steady magnetic field within an investigated volume, at least one radio-frequency antenna (9) for transmitting radio-frequency pulses to the investigated volume for magnetic resonance spin excitation, a gradient coil unit comprising gradient coils (4, 5, 6) for generating gradient magnetic fields in the investigated volume (100), a radio-frequency shield (104) situated between said radio-frequency antenna (9) and said gradient coils (4, 5, 6). Said radio-frequency shield (104) contains a shielding material adapted for suppressing Eddy currents induced in the shield by said gradient magnetic fields and for screening radio-frequency fields towards the gradient coils (4, 5, 6), said radio-frequency fields being generated by the radio-frequency antenna (9). The radio-frequency shield comprises a conductive

coating (104, 110) as shielding material.

EFFECT: protection using radio-frequency shields for shielding gradient coils from radio-frequency fields and effective suppression of Eddy currents.

14 cl, 4 dwg



Фиг. 2

C 2  
9 4 9 2 6 4 6  
R U

R U  
2 5 7 2 6 4 6  
C 2

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Изобретение относится к системе формирования магнитно-резонансных изображений, включающей в себя радиочастотный экран, содержащий проводящее покрытие в качестве экранирующего материала, а также к способу изготовления системы формирования магнитно-резонансных изображений.

### УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Магнитно-резонансные методы формирования изображения, которые для формирования двумерных или трехмерных изображений используют взаимодействие между магнитным полем и спинами ядер, широко используются в настоящее время, особенно в области медицинской диагностики, так как для формирования изображений мягких тканей они во многих отношениях превосходят другие методы формирования изображений, не требуют ионизирующего излучения, и, как правило, неинвазивны.

В соответствии с магнитно-резонансным методом в целом тело пациента или вообще объект, подлежащий изучению, расположен в сильном однородном магнитном поле  $B_0$ , направление которого в то же время определяет ось, как правило, ось  $z$  системы координат, на которой основано измерение.

Магнитное поле создает различные энергетические уровни для отдельных ядерных спинов в зависимости от силы приложенного магнитного поля, которым спины могут быть возбуждены (спиновый резонанс), путем применения переменного электромагнитного поля (радиочастотное поле) определенной частоты, так называемой ларморовской частоты или магнитно-резонансной частоты. С макроскопической точки зрения распределение отдельных ядерных спинов дает общую намагниченность, которая может быть выведена из состояния равновесия путем применения электромагнитного импульса соответствующей частоты (радиочастотного импульса), в то время как магнитное поле проходит перпендикулярно оси  $z$ , так что намагниченность выполняет прецессионное движение вокруг оси  $z$ .

Любое изменение намагниченности может быть обнаружено с помощью принимающих радиочастотных антенн, которые расположены и ориентированы в рассматриваемом объеме магнитно-резонансного устройства таким образом, что изменение намагниченности измеряется в направлении, перпендикулярном к оси  $z$ .

Для того чтобы реализовать пространственное разрешение в организме, изменяющиеся градиенты магнитного поля, направленные вдоль трех основных осей, накладываются на однородное магнитное поле, что приводит к линейной пространственной зависимости частоты спинового резонанса. Сигнал, получаемый приемными антеннами, содержит компоненты различных частот, которые могут быть связаны с различными положениями в организме.

Данные сигнала, полученные с помощью приемных антенн, соответствуют пространственной частотной области и называются данными  $k$ -пространства. Данные  $k$ -пространства обычно включают в себя множество линий, полученных с помощью разного фазового кодирования. Каждая линия преобразуется в цифровую форму путем сбора нескольких образцов. Набор образцов данных  $k$ -пространства преобразуется в магнитно-резонансное изображение, например, с помощью преобразования Фурье.

Одним из важных аспектов в формировании магнитно-резонансных изображений является эффективная защита с использованием РЧ (радиочастотных) щитов (или радиочастотных экранов) для экранирования градиентных катушек от вышеупомянутых радиочастотных полей. Есть два основных требования к конструкции радиочастотных экранов: первое требование состоит в том, что радиочастотный экран должен быть хорошо проводящим, чтобы действовать как экран для радиочастотных полей в

мегагерцовом диапазоне, генерируемом радиочастотной антенной магнитно-резонансной системы. Однако предпочтительный хорошо проводящий радиочастотный экран, который эффективно блокирует радиосигналы радиочастотной антенны, действует в то же время как среда, в которой могут быть индуцированы вихревые токи благодаря изменениям градиентов магнитного поля в килогерцовом диапазоне, в котором эти вихревые токи вызывают существенное тепловыделение в радиочастотном экране. Таким образом, второе требование заключается в том, чтобы радиочастотный экран был способен эффективно подавлять развитие вихревых токов.

Однако хорошая радиочастотная защита требует материалов с высокой проводимостью, в то время как использование материалов с высокой проводимостью приводит к развитию нежелательных вихревых токов.

Для того чтобы разрешить этот конфликт, обычно используются щелевые радиочастотные экраны, в которых полосы радиочастотного экрана соединены конденсаторами для того, чтобы «закрыть» их для радиочастот. Эти конденсаторы могут быть либо дискретными компонентами, либо они также могут быть распределенными конденсаторами.

Например, патентная заявка США №7230427В2 описывает магнитно-резонансное устройство с блоком радиочастотной антенны и блоком градиентных катушек, в котором магнитно-резонансное устройство включает радиочастотный экран, расположенный между блоком радиочастотной антенны и блоком градиентных катушек.

Хотя разрезание радиочастотных экранов и соединение получившихся в результате полос конденсаторами дает хороший компромисс между высокой проводимостью для радиочастотного экранирования и подавлением вихревых токов, радиочастотные экраны, изготовленные таким образом, являются дорогими из-за процедуры резки и соединения полос емкостными мостами. Европейская патентная заявка EP0430104 упоминает радиочастотный экранирующий корпус, выполненный из проводящего слоя.

Из всего вышесказанного легко понять, что имеется необходимость в усовершенствованном радиочастотном экране. Следовательно, целью настоящего изобретения является создание усовершенствованной системы формирования магнитно-резонансных изображений, содержащей улучшенный радиочастотный экран.

#### РАСКРЫТИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В соответствии с настоящим изобретением предлагается система формирования магнитно-резонансных изображений, включающая в себя главный магнит для создания равномерного, устойчивого магнитного поля в исследуемом объеме, и по меньшей мере одну радиочастотную антенну для передачи радиочастотных импульсов к исследуемому объему для возбуждения магнитного спинового резонанса. Кроме того, система включает в себя блок градиентных катушек, содержащий градиентные катушки для создания градиентных магнитных полей в исследуемом объеме. Система также содержит радиочастотный экран, расположенный между указанной радиочастотной антенной и указанными градиентными катушками в тех частях блока градиентных катушек, которые пространственно обращены к исследуемому объему (100) и покрыты проводящим покрытием (104, 110) для формирования радиочастотного экрана (104), который содержит экранирующий материал, адаптированный для подавления вихревых токов, индуцированных в экране указанными градиентными магнитными полями, и для экранирования градиентных катушек от радиочастотных полей, генерируемых радиочастотной антенной, при этом радиочастотный экран содержит проводящее покрытие в качестве экранирующего материала.

Система формирования магнитно-резонансных изображений, содержащая

радиочастотный экран, который содержит проводящее покрытие в качестве экранирующего материала, имеет то преимущество, что она может быть изготовлена простым и, следовательно, дешевым способом. Так как больше не требуется разрезать радиочастотный экран, не требуется и соединять полосы емкостными мостами, что таким образом облегчает изготовление соответствующего радиочастотного экрана и снижает затраты на производство.

Хорошие характеристики проводящего покрытия в качестве экранирующего материала обусловлены его зернистой структурой, в которой присутствует как омический контакт между металлическими зернами, содержащимися в покрытии, так и емкостная связь между ними. Свойства проводящего покрытия таким образом можно варьировать путем изменения его состава, что обуславливает размер, форму, электрические свойства и плотность металлических зерен в покрытии. Предпочтительно, чтобы толщина проводящего покрытия находилась в пределах от 7 мкм до 25 мкм. Кроме того, в предпочтительном варианте осуществления поверхностное сопротивление проводящего покрытия находится между 0,01 и 0,75 Ом/квadrat/25 мкм. С таким тщательно подобранным поверхностным сопротивлением проводящего покрытия можно одновременно удовлетворить как требование хорошего радиочастотного экранирования градиентных катушек от радиочастотных полей, так и требование хорошего подавления вихревых токов.

В соответствии с вариантом осуществления изобретения проводящее покрытие содержит серебро и/или медь в качестве проводящего материала.

В соответствии с еще одним вариантом осуществления изобретения части блока градиентных катушек, пространственно обращенные к исследуемому объему, покрыты проводящим покрытием для формирования радиочастотного экрана. Другими словами, в этом варианте осуществления не требуется дополнительной подложки для проводящего покрытия, вместо этого проводящее покрытие наносится непосредственно на блок градиентных катушек. Этот метод имеет несколько преимуществ: первое преимущество заключается в том, что в магнитно-резонансной системе не требуется никаких дополнительных компонентов для радиочастотного экранирования, которые надо было бы присоединять к магнитно-резонансной системе в качестве дополнительного радиочастотного экрана. Второе преимущество состоит в том, что некоторое количество тепла, генерируемого в проводящем покрытии вихревыми токами, рассеивается непосредственно в направлении блока градиентных катушек, который обычно включает в себя систему охлаждения градиентных катушек. Следовательно, эта система охлаждения градиентных катушек может быть использована для охлаждения одновременно и градиентных катушек, и радиочастотного экрана. Не требуется никакого дополнительного охлаждения радиочастотного экрана, что еще больше снижает затраты на производство систем формирования магнитно-резонансных изображений.

Еще одним преимуществом этого варианта является то, что отсутствует зазор между радиочастотным экраном и блоком градиентных катушек, так как дополнительный радиочастотный экран не требуется. Это может быть использовано, например, для повышения эффективности радиочастотной катушки (например, катушки для тела) или увеличения отверстия для пациента, то есть для увеличения исследуемого объема.

В соответствии с вариантом осуществления изобретения части блока градиентных катушек, содержащие проводящее покрытие, находятся в прямом тепловом контакте с указанной системой охлаждения. Это позволяет отводить тепло в очень больших количествах от радиочастотного экрана к системе охлаждения градиентных катушек,

которая, в свою очередь, позволяет обеспечить проводящее покрытие в качестве экранирующего материала с более высокой проводимостью и, следовательно, с гораздо лучшим экранированием градиентных катушек от радиочастотных полей. Более интенсивное образование вихревых токов и, следовательно, большее рассеивание тепла компенсируется с помощью прямого теплового контакта радиочастотного экрана с системой охлаждения градиентных катушек.

В соответствии с альтернативным вариантом осуществления изобретения радиочастотный экран представляет собой электрически изолирующую подложку, покрытую проводящим покрытием. Например, может быть использована пластина поликарбоната, которая может быть установлена на блок градиентных катушек вокруг радиочастотной антенны. Это имеет то преимущество, что радиочастотный экран может быть заменен простым и дешевым способом. Так, например, из-за износа радиочастотного экрана проводящее покрытие может быть частично удалено. В этом случае радиочастотный экран может быть легко восстановлен путем его простой замены на новый радиочастотный экран.

В соответствии с вариантом осуществления изобретения подложка может быть непосредственно присоединена к блоку градиентных катушек. В одном варианте осуществления подложка изготовлена из электроизоляционного материала, который в то же время обладает свойством высокой теплопроводности. Примером такого материала может быть, например, нитрид алюминия или нитрид бора.

Такая электроизолирующая, но в то же время теплопроводящая подложка имеет то преимущество, что она способна отводить тепло, генерируемое в проводящем покрытии, в направлении блока градиентных катушек. Таким образом, система охлаждения, имеющаяся в блоке градиентных катушек, опять может быть использована для эффективного отвода тепла от проводящего покрытия.

В качестве альтернативы радиочастотный экран может быть снабжен системой воздушного охлаждения, которая находится в прямом тепловом контакте с подложкой.

В предпочтительном варианте осуществления, независимо от теплопроводности подложки, радиочастотный экран может быть обращен своей покрытой стороной к градиентным катушкам. Это позволяет увеличить расстояние до самой радиочастотной катушки, что хорошо для ее чувствительности и эффективности. Следовательно, необходимость в высокой проводимости покрытия уменьшается. Радиочастотный экран по этому варианту осуществления может быть охлажден в направлении градиентных катушек либо воздухом, либо материалом текучего типа, например гелем, который может быть применен после того, как радиочастотный экран был присоединен к градиентным катушкам. Однако в целом охлаждающая среда, такая как воздух или гель, может быть применена между радиочастотным экраном и блоком градиентных катушек независимо от пространственной ориентации покрытия (по направлению к блоку градиентных катушек или от него) и не зависит от материала подложки.

В другом аспекте изобретение относится к способу изготовления системы формирования магнитно-резонансных изображений, описанной выше, причем способ включает в себя нанесение проводящего покрытия путем применения методов распыления или гальванопластики. В обоих случаях соответствующие производственные процессы могут просто и надежно управляться, обеспечивая тем самым возможности производства систем формирования магнитно-резонансных изображений.

В случае гальванопластики, конечно, требуется первоначальное нанесение специального покрытия на электроизоляционные поверхности подложки, на которые должно быть нанесено проводящее покрытие. Однако такие методы хорошо известны

в данной области техники.

### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Прилагаемые чертежи раскрывают предпочтительные варианты осуществления изобретения. Следует понимать, однако, что чертежи представлены в целях иллюстрации, а не как определение границ изобретения. На чертежах:

Фиг.1 иллюстрирует схему магнитно-резонансного устройства в соответствии с изобретением,

Фиг.2 иллюстрирует поперечное сечение магнитно-резонансной системы, включающей в себя радиочастотную антенну, блок градиентных катушек и радиочастотный экран,

Фиг.3 показывает еще одну магнитно-резонансную систему в соответствии с изобретением,

Фиг.4 иллюстрирует смоделированную схему вихревых токов в проводящем покрытии, действующем как радиочастотный экран.

### ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Со ссылкой на Фиг.1 показана система 1 формирования магнитно-резонансных изображений. Система состоит из сверхпроводящих или резистивных основных магнитных катушек 2, таких, что существенно однородное, постоянное во времени основное магнитное поле  $B_0$  создается вдоль оси  $z$  через исследуемый объем.

Система магнитного резонанса применяет серии радиочастотных импульсов и меняющиеся градиенты магнитного поля, чтобы инвертировать или возбуждать ядерные магнитные спины, индуцировать магнитный резонанс, перефокусировать магнитный резонанс, манипулировать магнитным резонансом, пространственно или иным способом кодировать магнитный резонанс, насыщать спины и т.п., чтобы выполнять формирование магнитно-резонансных изображений.

Более конкретно, усилитель 3 градиентного импульса подает импульсы тока в избранные или все градиентные катушки 4, 5 и 6 вдоль осей  $x$ ,  $y$  и  $z$  исследуемого объема. Радиочастотный передатчик 7 передает радиочастотные импульсы или импульсные пакеты через переключатель 8 передачи/приема на радиочастотную антенну 9, чтобы передать радиочастотные импульсы в исследуемый объем. Типичная последовательность формирования магнитно-резонансных изображений состоит из пакета последовательностей радиочастотных импульсов короткой продолжительности, которые берутся совместно друг с другом и любыми приложенными градиентами магнитного поля для достижения выбранной манипуляции ядерного магнитного резонанса.

Радиочастотные импульсы используются для насыщения, возбуждения резонанса, инвертирования намагниченности, перефокусирования резонанса или манипуляции резонансом и выбора части тела 10, расположенного в исследуемом объеме. Магнитно-резонансные сигналы также могут быть приняты радиочастотной антенной 9.

Для генерации магнитно-резонансных изображений ограниченной области тела или объекта 10 в целом, например, с помощью параллельного формирования изображений набор локальных массивов радиочастотных катушек 11, 12 и 13 размещается поблизости от области, выбранной для сканирования. Массивы катушек 11, 12 и 13 могут быть использованы для получения магнитно-резонансных сигналов, индуцированных радиочастотным излучением, осуществляемым через радиочастотную антенну. Однако возможно также использовать массивы катушек 11, 12 и 13 для передачи радиочастотных сигналов к исследуемому объему.

Полученные магнитно-резонансные сигналы принимаются радиочастотной антенной 9 и/или массивом радиочастотных катушек 11, 12 и 13 и демодулируются приемником 14, предпочтительно включающим предварительный усилитель (не показан). Приемник

14 соединен с радиочастотными катушками 9, 11, 12 и 13 через переключатель 8 передачи/приема.

Компьютер 15 управляет усилителем 3 градиентного импульса и передатчиком 7, чтобы генерировать любую из множества последовательностей формирования изображений, таких как эхопланарное представление (echo planar imaging, EPI), эхообъемное представление, градиентное и спиновое эхопредставление, быстрое спиновое эхопредставление и т.п.

Для выбранной последовательности приемник 14 принимает одну или несколько линий магнитно-резонансных данных в быстрой последовательности после каждого радиочастотного возбуждающего импульса. Система 16 сбора данных выполняет аналогово-цифровое преобразование полученных сигналов и преобразует каждую линию магнитно-резонансных данных в цифровой формат, пригодный для дальнейшей обработки. В современных магнитно-резонансных устройствах система 16 сбора данных представляет собой отдельный компьютер, который специализируется на сборе исходных данных изображения.

В конце концов цифровые данные исходного изображения восстанавливаются в графическое представление процессором 17 реконструкции, который применяет преобразование Фурье или другие соответствующие алгоритмы реконструкции. Магнитно-резонансное изображение может представлять собой плоский срез через пациента, массив параллельных плоских срезов, трехмерный объем и т.п. Затем изображение сохраняется в памяти изображений, где оно может быть доступно для преобразования срезов или других частей изображения в соответствующие форматы для формирования изображений, например, через видеомонитор 18, который обеспечивает воспринимаемое человеком отображение результирующего магнитно-резонансного изображения.

На Фиг. 1 не показан радиочастотный экран, расположенный между радиочастотной антенной 9 и градиентными катушками 4, 5 и 6. Этот радиочастотный экран будет теперь описан более подробно со ссылкой на Фиг.2 и Фиг.3.

Фиг.2 иллюстрирует схему расположения блока градиентных катушек, содержащих градиентную катушку 6, например градиентную катушку оси z магнитно-резонансной системы 1 на Фиг.1, радиочастотный экран 104 и по меньшей мере одну радиочастотную антенну 9 для передачи радиочастотных импульсов к исследуемому объему, обозначенному цифрой 100. Объект для сканирования обозначен цифрой 10.

В варианте осуществления, показанном на Фиг.2, градиентная катушка 6 включает в себя систему 102 охлаждения, например жидкостную систему охлаждения, где в поперечном сечении, показанном на Фиг.2, элементы, обозначенные цифрами 102, иллюстрируют поперечные сечения охлаждающих каналов, через которые может течь охлаждающая среда.

Радиочастотный экран 104 расположен между радиочастотной антенной 9 и градиентной катушкой 6, где радиочастотный экран содержит экранирующий материал, адаптированный для подавления вихревых токов, индуцируемых в экране изменениями градиентных магнитных полей градиентной катушки 6, а также для экранирования градиентной катушки 6 от радиочастотных полей, порождаемых радиочастотной антенной 9. Радиочастотный экран 104 представляет собой проводящее покрытие поверхностей градиентной катушки 6, обращенных к исследуемому объему 100. Таким образом, прокладки между антенной 9 и радиочастотным экраном 104 больше не требуются.

В альтернативном варианте осуществления, показанном на Фиг.3, радиочастотный

экран 104 содержит электрически непроводящую подложку 106, которая является основой для проводящего покрытия 110, служащего экранирующим материалом. Таким образом, в варианте осуществления, показанном на Фиг.2, радиочастотный экран является проводящим покрытием, непосредственно нанесенным на градиентную катушку 6, в то время как в варианте осуществления, показанном на Фиг.3, радиочастотный экран состоит из сочетания подложки 106 и покрытия 110, которое наносится на подложку 106. Однако, как уже упоминалось выше, в альтернативном варианте осуществления радиочастотный экран может быть обращен покрытием 110 к градиентной катушке 6.

Для того чтобы обеспечить достаточный отвод тепла от покрытия 110, на Фиг.3 может быть обеспечена дополнительная система 108 охлаждения, где обозначенные элементы 108 могут, например, иллюстрировать сечения труб, через которые может протекать воздух с целью отвода тепла. Однако, как описано выше, в том случае, если электроизоляционный материал 106 обладает хорошей теплопроводностью, отвод тепла от покрытия 110 также может быть выполнен через подложку 106 к системе 102 охлаждения градиентной катушки 6 - в этом случае предпочтительно, чтобы подложка 106 прикреплялась непосредственно к градиентной катушке 6.

Несмотря на то что на Фиг.2 и Фиг.3 показана только градиентная катушка 6, другие части блока градиентных катушек также могут быть использованы для нанесения проводящего покрытия в качестве экранирующего материала или для покрытия подложкой, на которую наносится проводящее покрытие. В то время как термин "градиентная катушка" обозначает только градиентную катушку саму по себе, термин "блок градиентных катушек" обозначает устройство, которое физически содержит в себе отдельные градиентные катушки, а также соответствующие электронные компоненты, необходимые для управления отдельными градиентными катушками.

Фиг.4 является смоделированной схемой вихревых токов в проводящем покрытии радиочастотного экрана в соответствии с изобретением.

Моделирование, изображенное на Фиг.4, было выполнено для градиентной катушки оси x. Картина индуцированных токов в радиочастотном экране напоминает картину токов самой градиентной катушки, но с гораздо меньшей интенсивностью. Вихревые токи в радиочастотном экране, как предполагается, образуются вследствие градиента по оси x величиной 100 Тл/м/с. Картина токов изображена как функция потока в проводящем покрытии, развернутом на плоской пластине.

Важным аспектом изобретения является выбор подходящей толщины и типа покрытия для того, чтобы радиочастотный экран был достаточно прозрачным для градиентных полей, частоты которых находятся в килогерцовом диапазоне, и чтобы радиочастотный экран был одновременно существенно непрозрачным для радиочастотных полей, частоты которых находятся в мегагерцовом диапазоне.

Рассеяние в проводящем покрытии радиочастотного экрана без щелей может быть рассчитано следующим образом: в первую очередь следует учитывать сопротивление проводящего слоя. Сопротивление может быть определено как поверхностное сопротивление, выраженное в Ом/квadrat/25 мкм, что является сопротивлением между двумя противоположными сторонами квадратной поверхности толщиной 25 мкм. Соотношение между сопротивлением и поверхностным сопротивлением выглядит как

$$R_{sg} = \frac{\rho a}{da} = \frac{\rho}{d}$$

так что

$$\rho = R_{sq} d$$

Типичное серебряное покрытие, используемое в настоящем изобретении, имеет поверхностное сопротивление 0,015 Ом/квadrat/25 мкм или удельное сопротивление 37,5 мкОм·см, что сопоставимо с характеристиками нержавеющей стали. Толщина покрытия на практике составляет от 7 до 25 мкм. Если предположить, что толщина  
5 слоя 15 мкм, то можно показать, что рассеяние, вызванное градиентными колебаниями, является доминирующим механизмом нагрева. Для градиентной катушки, работающей с высокой скоростью нарастания напряжения, значение 100 Тл/м/с может быть усреднено по продолжительности сканирования. Составляющая поля, перпендикулярная к радиочастотному экрану, создает вихревые токи, которые вызывают диссипацию.

10 Следует отметить, что диссипация около 1000 Вт в радиочастотном экране является высокой. Однако это не является желательным, даже если тепло может быть отведено через систему охлаждения градиентной катушки. Причина в том, что кроме нагрева вихревые токи могут вызвать нежелательные электромагнитные поля ошибки, которые влияют на качество полученных магнитно-резонансных изображений и отнимают  
15 дополнительную мощность у градиентного усилителя. Для того чтобы получить более приемлемую диссипацию, сопоставимую с современными радиочастотными экранами, желательный уровень диссипации должен составлять около 250 Вт или меньше. Рассеиваемая мощность растет с ростом  $d/p$  ( $d$  - толщина слоя, а  $p$  - поверхностное сопротивление), так что нагрев может быть снижен до приемлемого уровня путем  
20 использования проводящего слоя с более низкой проводимостью (т.е. с более высоким поверхностным сопротивлением).

Например, в качестве проводящего материала серебро может быть заменено на медь, которая также делает проводящий слой менее дорогим. Тем не менее, следует отметить, что проводимость проводящего слоя меньше зависит от выбора материала  
25 (например, серебро или медь), чем от концентрации, формы и размера металлических зерен в покрытии.

Кроме того, может быть использован тонкий слой, предпочтительно в диапазоне толщины слоя от 7 до 25 мкм. Наконец, могут быть применены простые разрезы, что, однако, не является предпочтительным, так как это приводит к более сложному рисунку  
30 и требует использования конденсаторов для создания емкостных мостов между полосками.

Правильный выбор проводящего материала и толщины слоя обеспечивает улучшение в 100 раз по сравнению с известными решениями радиочастотных экранов, так что тепловыделение может быть сведено к действительно незначительному уровню. Это  
35 является принципиальной разницей между предлагаемым решением и обычными решениями, где радиочастотный экран изготовлен из металлической фольги. Использование металлической фольги всегда приводит к режиму сильной диссипации, что требует значительных усилий для охлаждения, а также к связанным с этим ранее упомянутым недостаткам. Это показывает, что существует принципиальная разница  
40 между использованием металлических листов и использованием проводящего слоя.

Охлаждение магнита также может индуцировать токи в радиочастотном экране, но это влияние незначительно. Тот факт, что градиентная система может легко генерировать 100 Тл/с в непрерывном режиме у радиочастотного экрана, в то время как охлаждение магнита дает только 2 Тл/с в течение всего лишь нескольких секунд,  
45 означает, что охлаждение не является поводом для беспокойства. Фактический расчет тепла, индуцированного системой охлаждения в радиочастотном экране в соответствии с изобретением, дает лишь небольшое число, например 20 Дж, для системы охлаждения магнита в 3 Тл и радиочастотного экрана, покрытого слоем серебра толщиной 15 мкм.

## Формула изобретения

1. Система (1) формирования магнитно-резонансных изображений, включающая в себя:

5 главный магнит (2) для создания равномерного, устойчивого магнитного поля в исследуемом объеме,

по меньшей мере одну радиочастотную антенну (9) для передачи радиочастотных импульсов к исследуемому объему для возбуждения магнитного спинового резонанса, блок градиентных катушек, содержащий градиентные катушки (4, 5, 6) для создания  
10 градиентных магнитных полей в исследуемом объеме (100),

радиочастотный экран (104), расположенный между указанной радиочастотной антенной (9) и указанными градиентными катушками (4, 5, 6) в тех частях блока градиентных катушек, которые пространственно обращены к исследуемому объему (100) и покрыты проводящим покрытием (104, 110) для формирования радиочастотного  
15 экрана (104), причем радиочастотный экран (104) содержит экранирующий материал, адаптированный для подавления вихревых токов, индуцированных в экране указанными градиентными магнитными полями, и для экранирования градиентных катушек (4, 5, 6) от радиочастотных полей, порождаемых радиочастотной антенной (9), при этом радиочастотный экран содержит проводящее покрытие (104, 110) в качестве  
20 экранирующего материала.

2. Система (1) по п.1, в которой толщина проводящего покрытия (104, 110) находится в пределах от 7 мкм до 25 мкм.

3. Система (1) по п.1, в которой поверхностное сопротивление проводящего покрытия (104, 110) находится в пределах от 0,01 до 0,75 Ом/квadrat/25 мкм.

4. Система (1) по п.1, в которой проводящее покрытие (104, 110) содержит серебро  
25 и/или медь в качестве проводящего материала.

5. Система (1) по п.4, в которой блок градиентных катушек включает в себя систему (102) охлаждения градиентных катушек, причем части блока градиентных катушек, содержащие проводящее покрытие (104, 110), находятся в прямом тепловом контакте  
30 с указанной системой (102) охлаждения.

6. Система (1) по п.1, в которой радиочастотный экран (104) включает в себя электрически изолирующую подложку (106), причем подложка (106) покрыта проводящим покрытием (110).

7. Система (1) по п.6, в которой подложка (106) непосредственно присоединена к  
35 блоку градиентных катушек.

8. Система (1) по п.6, дополнительно включающая в себя систему (108) охлаждения, содержащую охлаждающую среду для охлаждения покрытия.

9. Система по п.8, в которой охлаждающая среда находится в прямом тепловом контакте с подложкой (106).

40 10. Система по п.8, в которой охлаждающей средой является воздух.

11. Система по п.8, в которой охлаждающей средой является гель.

12. Система по п.11, в которой гель пространственно расположен между радиочастотным экраном (104) и блоком градиентных катушек.

13. Система по п.6, в которой проводящее покрытие обращено к блоку градиентных  
45 катушек.

14. Способ изготовления системы (1) формирования магнитно-резонансных изображений по любому из предыдущих пунктов, содержащий: обеспечение проводящего покрытия (104, 110) с использованием методов распыления и/или

ГАЛЬВАНОПЛАСТИКИ.

5

10

15

20

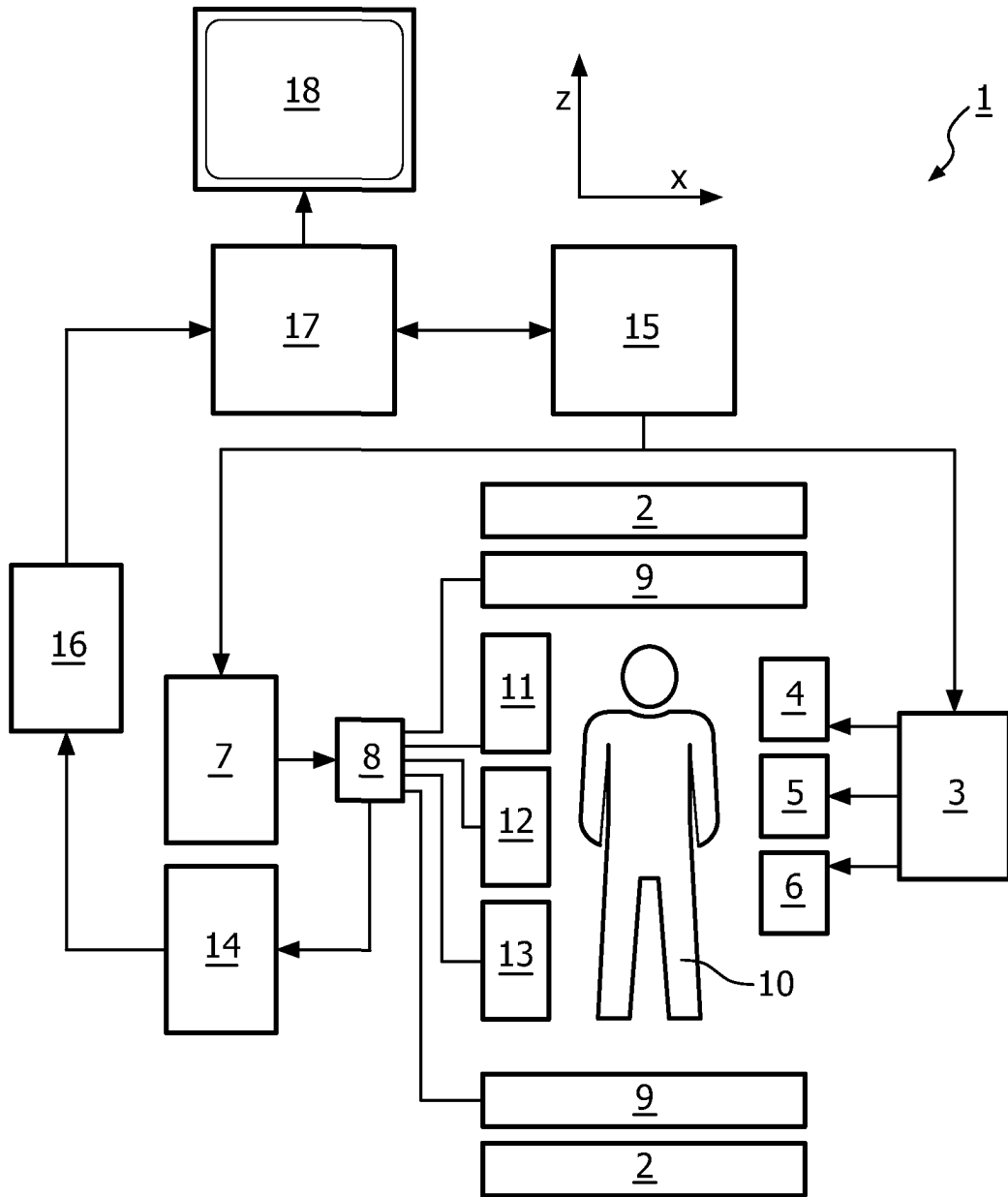
25

30

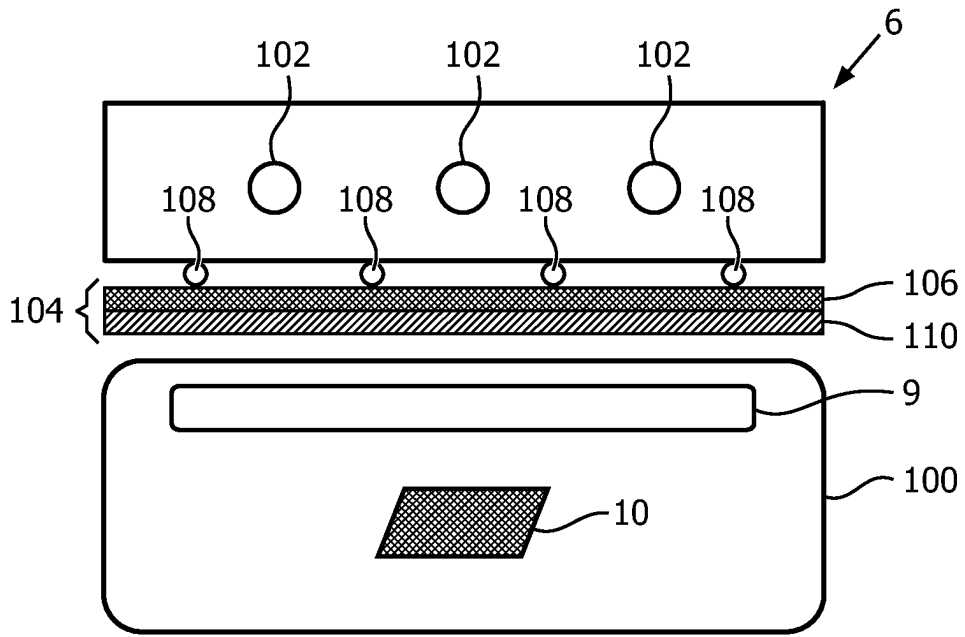
35

40

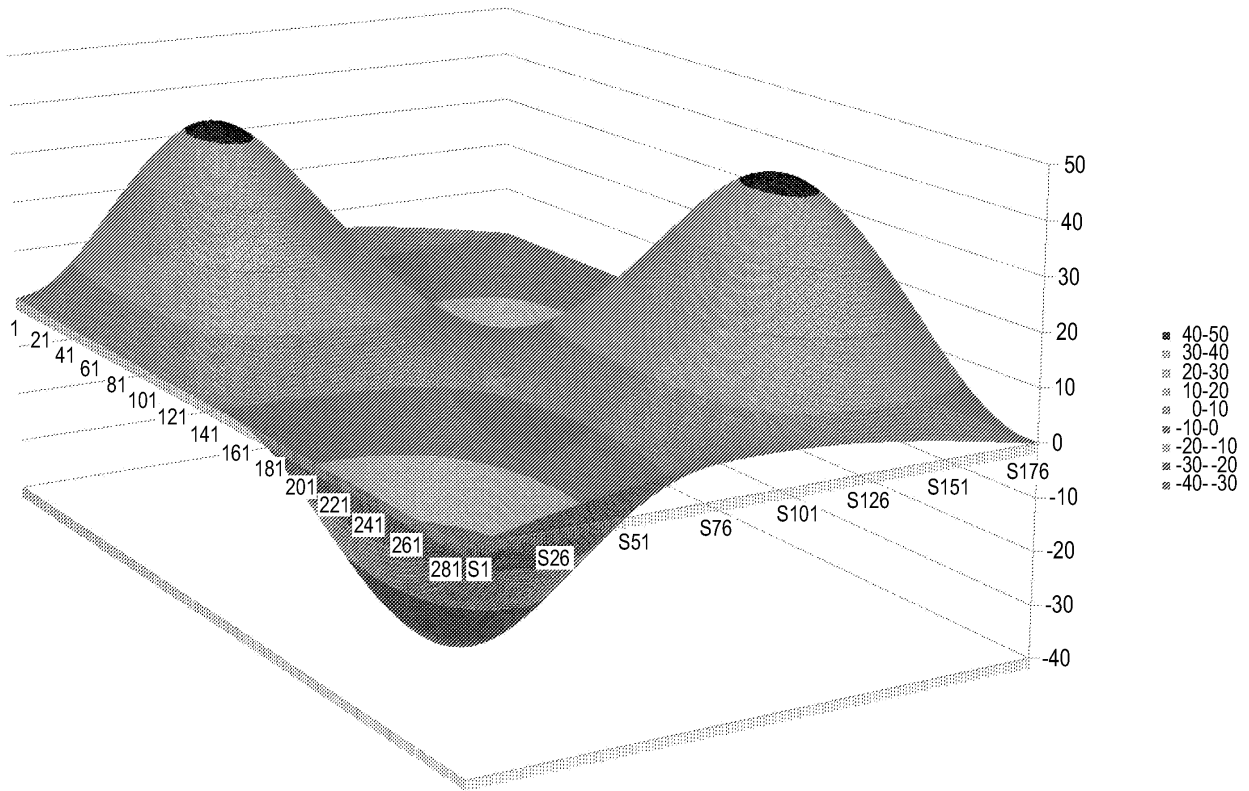
45



ФИГ. 1



Фиг. 3



Фиг. 4