



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 002 919 B4** 2006.01.12

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 002 919.9**

(22) Anmeldetag: **20.01.2004**

(43) Offenlegungstag: **11.08.2005**

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **12.01.2006**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01F 5/00** (2006.01)

**H01F 41/04** (2006.01)

**B22F 3/105** (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

**Siemens AG, 80333 München, DE**

(72) Erfinder:

**Eberler, Michael, 92353 Postbauer-Heng, DE;**  
**Kolbeck, Thomas, 90562 Kalchreuth, DE; Schön,**  
**Lothar, 91077 Neunkirchen, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 199 62 182 C2**

**DE 195 14 740 C1**

**DE 101 47 474 C1**

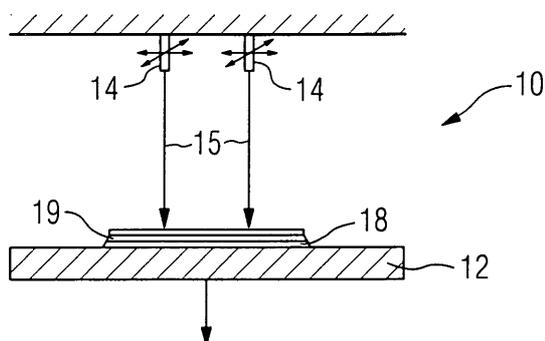
**DE 199 05 067 A1**

**DE 100 53 742 A1**

**EP 12 34 625 A1**

(54) Bezeichnung: **Gradientenspulensystem und Verfahren zum Herstellen des Gradientenspulensystems**

(57) Hauptanspruch: Gradientenspulensystem eines Magnetresonanzgeräts, bei dem wenigstens ein Teil einer elektrischen Leiteranordnung des Gradientenspulensystems durch Einwirken einer Strahlung, insbesondere Laserstrahlung auf ein Metallpulver-Sintermaterial hergestellt ist.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Gradientenspulensystem und ein Verfahren zum Herstellen des Gradientenspulensystems.

## Stand der Technik

**[0002]** Die Magnetresonanztechnik ist eine bekannte Technik unter anderem zum Gewinnen von Bildern eines Körperinneren eines Untersuchungsobjekts. Dabei werden in einem Magnetresonanzgerät einem statischen Grundmagnetfeld, das von einem Grundfeldmagneten erzeugt wird, schnell geschaltete Gradientenfelder überlagert, die von einem Gradientenspulensystem erzeugt werden. Ferner umfasst das Magnetresonanzgerät ein Hochfrequenzsystem, das zum Auslösen von Magnetresonanzsignalen Hochfrequenzsignale in das Untersuchungsobjekt einstrahlt und die ausgelösten Magnetresonanzsignale aufnimmt, auf deren Basis Magnetresonanzbilder erstellt werden.

**[0003]** Das Gradientenspulensystem besteht in der Regel aus mehreren übereinander liegenden Spulenlagen, wobei die einzelnen Spulenlagen eine komplexe Geometrie aufweisen, in einer Ebene vorgewickelt werden, zusammen mit Isolationslagen übereinander montiert werden und anschließend mit einem wärmehärtenden Gießharz auf Epoxydharzbasis unter Vakuum zum Gradientenspulensystem vergossen werden. Zum Abführen von Verlustwärme werden zusätzliche Lagen aus Kühlschläuchen bzw. Kühlrohren eingelegt, die später im Betrieb von einem Kühlmedium, beispielsweise von Kühlwasser, durchflossen werden. Ferner ist es auch bekannt, zusätzliche Lagen für Shimspulen in das Gradientenspulensystem mit einzubringen. Im Falle eines im Wesentlichen hohlzylinderförmigen Gradientenspulensystems werden die zuerst eben gefertigten Spulensegmente in Form eines Zylindersegments gebogen und entsprechend in das Gradientenspulensystem mit eingebracht. Bei den vorausgehend beschriebenen Fertigungsverfahren ist insbesondere nachteilig, dass im Hinblick auf die spätere Montierbarkeit die einzelnen Spulenlagen auf ein im Wesentlichen zweidimensionales Design konstruktiv beschränkt sind. Ferner entsteht ein hoher Fertigungsaufwand für die Montage von ca. neun Spulenlagen mit dazugehörigen Isolations- und Verstärkungslagen. Weiterhin ist die Kontaktierung zwischen den einzelnen Spulenlagen mit bis zu ca. 500 Lötstellen je Gradientenspulensystem sehr aufwändig.

**[0004]** Aus DE 199 62 182 C2 ist ein Magnetresonanzgerät mit einem einkreisigen mit einem Kühlmedium betriebenen Kühlkreislauf zur Kühlung eines Gradientenspulensystems bekannt.

**[0005]** Aus DE 101 47 474 C1 ist eine Makro-Multi-

layer-Spule bekannt. Die Spule umfasst mehrere elektrisch leitfähige Elemente, die so angeordnet sind, dass sie in zueinander parallelen Ebenen liegen. Dabei sind die Elemente mit elektrisch leitfähigen Distanzstücken spulenbildend und mit elektrisch isolierenden Distanzstücken stabilisierend verbunden. Die elektrisch leitenden Distanzstücke bestehen aus beliebig elektrisch leitfähigen Materialien, wie z.B. Kupfer oder Aluminium.

## Aufgabenstellung

**[0006]** Eine Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein Gradientenspulensystem zu schaffen, bei dem vorgenannte Nachteile vermindert sind.

**[0007]** Die Aufgabe wird erfindungsgemäß durch den Gegenstand des Anspruchs 1 und durch das Verfahren nach Anspruch 5 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

**[0008]** Gemäß Anspruch 1 ist bei einem Gradientenspulensystem eines Magnetresonanzgeräts wenigstens ein Teil einer elektrischen Leiteranordnung des Gradientenspulensystems durch Einwirken einer Strahlung, insbesondere Laserstrahlung, auf ein Metallpulver-Sintermaterial hergestellt.

**[0009]** Gegenüber den bekannten Verfahren werden damit folgende Vorteile erzielt: In einem für das Gradientenspulensystem zur Verfügung stehenden Bauvolumen kann ohne Rücksicht auf fertigungstechnische Erfordernisse ein beliebiger Verlauf der elektrischen Leiter gewählt werden, wodurch bisher als fertigungstechnisch nicht realisierbar eingestufte Designs einfach realisierbar sind. Ein dreidimensionaler Konstruktionsplan des elektrischen Leiterverlaufs des Gradientenspulensystems kann direkt für das Herstellungsverfahren übernommen werden. Jede Änderung des Verlaufs der elektrischen Leiter ist ohne Anpassung von Fertigungsmitteln umsetzbar, wodurch in der Entwicklungsphase u.a. ein Zeitgewinn erzielt wird. Bei der fertig gesinterten Leiteranordnung sind keinerlei Kontaktierungen einzelner Leiter untereinander mehr erforderlich. Der manuelle Montageaufwand ist drastisch reduziert. Da keine Eigenspannungen beispielsweise durch ein Biegen oder Wickeln entstehen, die Verformungen beim Vergussprozess hervorrufen können, wird eine höhere Genauigkeit erzielt.

**[0010]** Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen der Erfindung anhand der Figuren. Dabei zeigen:

## Ausführungsbeispiel

**[0011]** [Fig. 1](#) eine Skizze von Komponenten einer

Anlage zum Lasersintern,

**[0012]** [Fig. 2](#) Teilspulen und eine Isolationslage mit Kühlschläuchen eines Gradientenspulensystems zusammen mit einer Vergussform für das Gradientenspulensystem, und

**[0013]** [Fig. 3](#) einen Querschnitt eines Hohlleiters einer Leiteranordnung des Gradientenspulensystems.

**[0014]** Am Anfang eines Verfahrens zum Herstellen einer Leiteranordnung mittels Lasersintern steht ein dreidimensionaler Konstruktionsplan des gewünschten Verlaufs der elektrischen Leiter des Gradientenspulensystems. Dieser dreidimensionale Konstruktionsplan wird für das Lasersintern derart aufbereitet, dass er in parallele Schichten mit einer Dicke von typischerweise 50 – 100 µm aufgeteilt wird. Der derart aufbereitete Konstruktionsplan wird an eine Lasersinteranlage **10** übergeben, in der auf einer Bauplattform **12** der Lasersinteranlage **10** eine Pulverlage **18** eines ausgewählten Metallpulvers mit hoher elektrischer Leitfähigkeit, insbesondere Kupferpulver oder Aluminiumpulver, entsprechend der Schichtdicke erzeugt wird. Diese Pulverlage **18** repräsentiert dabei eine erste Schicht des Konstruktionsplans, innerhalb derer elektrische Leiter verlaufen, wobei die Lasersinteranlage **10** im Bereich der elektrischen Leiter durch einen Laserstrahl **15** hoher Energie das Metallpulver sintert bzw. verschmelzt. Durch Variation der Prozessparameter wird angestrebt, das Metallpulver möglichst porenfrei zu verschmelzen, um weitestgehend die Eigenschaften des Vollmaterials zu erreichen. Danach wird die Bauplattform **12** um eine Schichtdicke abgesenkt und eine zweite Pulverlage **19** entsprechend der Schichtdicke aufgebracht und auch in dieser Metallpulverlage **19**, wie vorausgehend beschrieben, mit dem Laserstrahl **15** gesintert. Übereinanderliegende gesinterte Teilbereiche verbinden sich dabei. Dabei wird das Aufbringen einer Metallpulverlage, das Sintern mit dem Laserstrahl **15** und das Absenken der Bauplattform **12** so oft wiederholt, bis alle Schichten des Konstruktionsplans abgearbeitet sind. Am Ende vorgenannten Herstellungszyklus ist die erzeugte Leiteranordnung komplett von Metallpulver umgeben und die fertige Leiteranordnung aus dem umgebenden Metallpulver zu entnehmen. Näheres zu Verfahren und Vorrichtungen zum Lasersintern ist beispielsweise in der DE 195 14 740 C1, DE 100 53 742 A1, EP 1 234 625 A1 usw. beschrieben.

**[0015]** Die [Fig. 2](#) zeigt exemplarisch zwei, auf kegelförmigen Oberflächen angeordnete Teilspulen **21** und **22** einer transversalen Gradientenspule eines Gradientenspulensystems, die durch Lasersintern dadurch erzeugt worden sind, dass nach vorausgehendem beschriebenem Verfahren die Kegelförmige in scheibenartige Schichten untergliedert wurden und der den Teilspulen zugrundeliegende

Konstruktionsplan Schicht für Schicht abgearbeitet wurde.

**[0016]** Für eine kurze Herstellungszeit ist die Lasersinteranlage **10** in einer Ausführungsform mit mehreren Lasern **14**, die gleichzeitig belichten, ausgestattet. Dabei werden Belichtungsstrategien verwendet, die eine möglichst hohe Materialdichte bewirken, d.h., die das Metallpulver lokal vollständig aufschmelzen. Weiterhin werden Belichtungsstrategien verwendet, die Verzugserscheinungen vermeiden.

**[0017]** Falls mit dem vorausgehend beschriebenen Verfahren mehrere Einzelspulen der Leiteranordnung, die innerhalb des Gradientenspulensystems frei von einer elektrischen Verbindung sind, gleichzeitig erzeugt werden, wird zur Verhinderung des grundsätzlichen Problems, dass sich die Einzelspulen bei der Entnahme aus dem Metallpulver gegeneinander verschieben könnten, dadurch entgegengewirkt, dass im Herstellungsverfahren filigrane Stege mitgesintert werden, welche die Einzelspulen miteinander verbinden und nach der Entnahme aus dem Metallpulver aufgrund vorgesehener Sollbruchstellen innerhalb der Stege leicht entfernbar sind. In der [Fig. 2](#) ist exemplarisch ein Steg **25** zwischen den Teilspulen dargestellt.

**[0018]** In einer Ausführungsform werden Fixier- und/oder Justierelemente **26** mitgesintert, die beim Einsetzen in eine Vergussform **30** mit entsprechenden Gegenstücken **32** eine selbsttätige Justage der gesinterten Struktur bewirken.

**[0019]** Die dem Metallpulver entnommene Leiteranordnung wird wie folgt weiterverarbeitet: Es werden flächige Isolationslagen zwischen Einzelspulen der Leiterstruktur eingeschoben. Es werden Kühlelemente aus auf einer Trägerplatte mäanderförmig angeordneten Kühlschläuchen zwischen die Einzelspulen eingeschoben. Die [Fig. 2](#) zeigt dazu exemplarisch eine der Isolationslagen **28** zusammen mit einem darauf angeordneten Kühlschlauch **29** für die Teilspule **21**. Die Leiteranordnung wird inklusive der Isolationslagen und Kühlelemente in die Vergussform **30** eingesetzt. Durch einen Verguss der zwischen der Leiteranordnung verbleibenden Freiräume mit einem vorzugsweise füllstoffhaltigen Gießharz und anschließender Aushärtung wird eine elektrische Isolation und mechanische Fixierung erzielt. Der Verguss mit einem Gießharz auf Epoxydharzbasis erfolgt dabei bevorzugt unter Vakuum und gegebenenfalls mit anschließender Druckbeaufschlagung.

**[0020]** In einer Ausführungsform werden wenigstens Teile der elektrischen Leiteranordnung gemäß [Fig. 3](#) als Hohlleiter **23** erzeugt, so dass der Hohlleiter **23** bei Betrieb direkt mit einem ihn durchströmenden Kühlmedium kühlbar ist und gegebenenfalls auf zusätzliche Kühlelemente im Gradientenspulensystem

verzichtet werden kann.

### Patentansprüche

1. Gradientenspulensystem eines Magnetresonanzgeräts, bei dem wenigstens ein Teil einer elektrischen Leiteranordnung des Gradientenspulensystems durch Einwirken einer Strahlung, insbesondere Laserstrahlung auf ein Metallpulver-Sintermaterial hergestellt ist.

2. Gradientenspulensystem nach Anspruch 1, wobei das Metallpulver-Sintermaterial ein Kupferpulver oder Aluminiumpulver beinhaltet.

3. Gradientenspulensystem nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei die Leiteranordnung, insbesondere zusammen mit Isolations- und/oder Kühleinrichtungen des Gradientenspulensystems, gießharzvergossen ist.

4. Gradientenspulensystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Leiteranordnung zum Durchleiten eines Kühlmediums wenigstens teilweise als eine Hohlleiteranordnung ausgebildet ist.

5. Verfahren zum Herstellen eines Gradientenspulensystems nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Leiteranordnung dadurch hergestellt wird, dass das aufeinanderfolgend schichtweise aufgetragene Metallpulver-Sintermaterial je Schicht an den Stellen der Leiteranordnung mittels der Strahlung verfestigt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei für die Leiteranordnung ein dreidimensionaler Konstruktionsplan vorgegeben wird, der in die Schichten untergliedert wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, wobei zwischen Teilen der Leiteranordnung wenigstens ein später entfernbare Steg mitgesintert wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 7, wobei wenigstens ein Justierelement mitgesintert wird, das für ein Einsetzen der Leiteranordnung in eine Vergussform mit einem entsprechenden Gegenstück eine selbsttätige Justage bewirkt.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 8, wobei die Leiteranordnung zusammen mit wenigstens einer Isolations- und/oder Kühleinrichtung vergossen wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

FIG 1

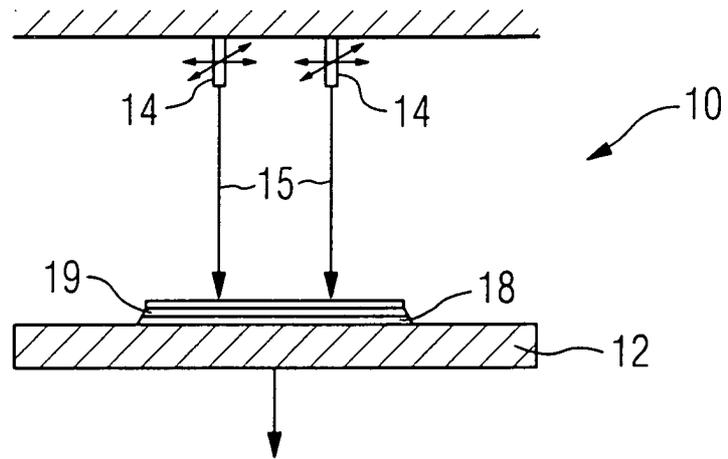


FIG 3

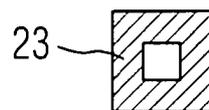


FIG 2

