



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 30 356 T2 2007.03.01**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 004 889 B1**

(51) Int Cl.⁸: **G01R 33/383** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 30 356.7**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 309 392.1**

(96) Europäischer Anmeldetag: **24.11.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **31.05.2000**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **15.03.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **01.03.2007**

(30) Unionspriorität:

198507 24.11.1998 US

(73) Patentinhaber:

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

(74) Vertreter:

Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, GB, NL

(72) Erfinder:

Laskaris, Evangelos Trifon, Schenectady, New York 12309, US; Aksel, Bulent, Clifton Park, New York 12065, US; Barber, William Daniel, Clifton Park, New York 12065, US; Thompson, Paul Shadforth, Stephentown, New York 12168, US; Vanoort, Johannes Martinus, Niskayuna, New York 12309, US; Ogle, Michele, Burnt Hills, New York 12027, US

(54) Bezeichnung: **Pol für einen MRI-Magneten aus laminierten Teilen, ein Verfahren zur Herstellung des Pols und eine Form zum Verkleben der Teile des Pols**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Laminatplatten-Polstück für ein MRI-System.

[0002] In den letzten Jahren wurde ein sogenanntes Laminatplatten-Polstück für MRI-Systeme entwickelt, siehe beispielsweise JP-A02184002. Hinsichtlich dieser Entwicklung ist das Laminatplatten-Polstück in [Fig. 1A](#) in einer Draufsicht und in [Fig. 1B](#) in einer Seitenansicht gezeigt. Das Polstück **10** enthält eine kreisförmige Weicheisengrundplatte **11**, einen um den Umfang des Grundkörpers **11** angeordneten Weicheisenring **12**, der dazu dient, den magnetischen Fluss in den Spalt zwischen Magneten zu lenken, Weichferrit-Laminatplatten **13** und **14** und einen Weicheisenkern **15** zum Befestigen einer Gradientenmagnetspule. Die Laminatplatten **13**, **14** und der Magnetkreis **15** beinhalten die Polstückfläche. Um einen konvexen Vorsprung **16** zu bilden, weisen die Laminatplatten **14** im Zentrum der Grundplatte **11** eine größere Dicke auf als die Laminatplatten **13** am Umfang der Grundplatte **11**. Der konvexe Vorsprung **16** verbessert die Homogenität des magnetischen Feldes.

[0003] Allerdings ist das Laminatplatten-Polstück aus dem Stand der Technik mit einigen Nachteilen behaftet. Erstens sind die Laminatplatten **13**, **14** in der Regel quadratisch oder rechteckig ausgebildet. Die Basis **11** und der Ring **12** weisen hingegen eine Kreisform auf. Um die quadratischen oder rechteckigen Platten in eine kreisförmige Öffnung einzupassen, werden daher Randfüllplatten **13A** benötigt. Wie in [Fig. 1A](#) gezeigt, weist jede Randfüllplatte **13A** eine eigene, unregelmäßige Gestalt auf, um den Randplatten **13** zu ermöglichen, die kreisförmige Basis **11** und den Ring **12** vollständig auszufüllen. Jede Randfüllplatte **13A** muss für sich getrennt aus anderen Platten **13** gestaltet werden, um ihre spezielle Form zu erhalten. Dies steigert die Kosten der Verarbeitung und erhöht die Komplexität.

[0004] Zweitens weist auch der Vorsprung **16**, wie in [Fig. 1A](#) gezeigt, eine Kreisform auf. Um die quadratischen oder rechteckigen zentralen Platten **14** in einem Kreis anzuordnen, werden daher, wie in [Fig. 1A](#) und [Fig. 1B](#) gezeigt, Randfüllplatten **14A** benötigt. Die Randfüllplatten **14A** weisen ebenfalls jeweils eine einzigartige, unregelmäßige Form auf, um den zentralen Platten **14** zu ermöglichen, einen kreisförmigen Vorsprung **16** zu bilden. Darüber hinaus müssen die Randfüllplatten **14A**, wie in [Fig. 1B](#) gezeigt, ebenfalls zwei verschiedene Dicken aufweisen, um zu ermöglichen, dass die zentralen Platten **14** mit den Randplatten **13** fugenlos zusammenpassen. Jede einzigartig geformte Randfüllplatte **14A** muss außerdem unabhängig von den übrigen zentralen Platten **14** ausgebildet werden. Diese steigert die Kosten der Verarbeitung zusätzlich.

[0005] Drittens ist die Befestigung einzelner Laminatplatten **13**, **14** an der Basis **11** mittels herkömmlicher Verfahren mit einem Anordnen jeder einzelnen Platte auf der Basis und einem anschließenden Gießen von Epoxidharz über die Platten verbunden. Das Epoxidharz quillt allerdings möglicherweise aus der Basis heraus und bedeckt Abschnitte des Polstücks, deren Beschichtung mit Epoxidharz nicht beabsichtigt ist. Einige Platten werden außerdem möglicherweise nicht ausreichend mit Epoxidharz beschichtet, da dieses nicht unter Druck zugeführt wird. Diese Platten können sich während des Betriebs des MRI-Systems ablösen. Außerdem lässt sich die optimale Höhe für den Vorsprung **16** durch manuelles Stapeln der Platten **14** auf einer Basis **11** wegen menschlicher Unzulänglichkeit nur schwer erzielen. Aufgrund von Abweichungen in der Höhe des Vorsprungs weisen daher unterschiedliche Polstücke, die mittels Verfahren aus dem Stand der Technik hergestellt sind, den Nachteil einer unzureichenden Reproduzierbarkeit auf und differieren in ihren Leistungseigenschaften.

[0006] In Anbetracht der obigen Ausführungen wäre es erwünscht, die Herstellungsprozesskosten und die Komplexität durch Ausbilden eines Laminatplatten-Polstücks zu verringern, das keine unregelmäßig geformten Randfüllplatten enthält.

[0007] Die vorliegende Erfindung schafft ein Polstück für ein Magnetresonanz-Tomographie-(MRI-System)-System. Das Polstück weist mehrere trapezförmige oder ringsektorförmige Platten auf, die in mehreren konzentrischen Ringanordnungen angeordnet sind.

[0008] Die Erfindung wird nun anhand von Beispielen mit Bezug auf die Zeichnungen eingehender beschrieben:

[0009] [Fig. 1A](#) zeigt eine Draufsicht auf ein Polstück aus dem Stand der Technik.

[0010] [Fig. 1B](#) zeigt eine entlang Linie X-X' in [Fig. 1A](#) geschnittene seitliche Ansicht eines Polstücks aus dem Stand der Technik.

[0011] [Fig. 2A](#) zeigt eine perspektivische Ansicht einer Laminatplattenanordnung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0012] [Fig. 2B](#) zeigt eine Draufsicht auf eine Laminatplattenanordnung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0013] [Fig. 2C](#) zeigt eine längs der Schnittlinie C-C' in [Fig. 2B](#) geschnittene seitliche Ansicht einer Laminatplattenanordnung gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0014] [Fig. 3A](#) und [Fig. 3B](#) stellen seitliche Schnittansichten von MRI-Systemen dar.

[0015] [Fig. 4A](#) zeigt eine Draufsicht auf eine Pressform gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0016] [Fig. 4B](#) zeigt eine seitliche Ansicht der Pressform, geschnitten entlang Linie A-A' in [Fig. 4B](#).

[0017] [Fig. 4C](#) zeigt das Polstück und Formhohlraumoberflächenkonturen in einer schematischen Darstellung.

[0018] [Fig. 4D](#) zeigt eine seitliche Schnittansicht einer Pressform gemäß einem alternativen Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0019] [Fig. 5A](#) zeigt eine seitliche Schnittansicht der mit Laminatplatten gefüllten Pressform gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0020] [Fig. 5B](#) zeigt eine vergrößerte seitliche Schnittansicht eines Ausschnitts nach [Fig. 5A](#).

[0021] [Fig. 5C](#) zeigt eine seitliche Schnittansicht einer Laminatplatte gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0022] [Fig. 6A](#) zeigt eine seitliche Schnittansicht eines Laminatplatten-Polstücks gemäß der vorliegenden Erfindung.

[0023] [Fig. 6B](#) zeigt eine vergrößerte seitliche Schnittansicht eines Ausschnitts nach [Fig. 6A](#).

[0024] [Fig. 7A](#) zeigt eine Draufsicht auf eine Laminatplattenanordnung gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0025] [Fig. 7B](#) zeigt eine seitliche Schnittansicht eines Ausschnitts nach [Fig. 7A](#).

[0026] [Fig. 7C](#) zeigt eine Draufsicht auf eine Laminatplatte gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0027] [Fig. 7D](#) zeigt eine seitliche Schnittansicht einer Laminatplatte gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0028] [Fig. 8](#) zeigt eine perspektivische Ansicht einer Laminatplatte gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0029] [Fig. 9A](#) und [Fig. 9B](#) sind seitliche Schnittansichten von MRI-Systemen gemäß dem dritten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0030] [Fig. 10A](#) und [Fig. 10B](#) sind perspektivische Ansichten von Laminatplatten gemäß dem vierten

Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung.

[0031] [Fig. 2A](#) zeigt eine perspektivische Ansicht eines weggebrochenen Abschnitts eines Polstücks **50**, das eine Polstückbasis **51** mit einer ersten Oberfläche **40** und einer zweiten Oberfläche **41** aufweist. Polstück-Laminatplatten **42** sind an der ersten Oberfläche **40** der Basis **51** angebracht. Die Platten **42** können mittels Epoxidharz, Klebstoff und/oder Bolzenschrauben an der Basis **51** befestigt sein. Jede Laminatplatte weist mehrere mit **21**, **22**, **23** bezeichnete eingelagerte Metallschichten und mit **31**, **32** bezeichnete Kleberschichten auf. Jede Laminatplatte **42** basiert in der Praxis auf 100 bis 10.000 Metallschichten, wobei jede Metallschicht vorzugsweise weniger als 0,1 mm (weniger als 5 Tausendstelzoll) dick ist. Jede Platte ist 0,2 bis 250 mm (0,1 bis 10 Zoll) dick und 20 bis 800 mm (1 bis 30 Zoll) breit. Beispielsweise ist jede Platte in der Mitte etwa 200 mm (8 Zoll) breit und 25 mm (1 Zoll) dick und enthält 1000 0,2 mm (1 Tausendstelzoll) dicke Metallschichten. Allerdings können die Platten und die Metallschichten abhängig von dem gewünschten Verwendungszweck auch andere Abmessungen aufweisen. Außerdem kann jede Platte in einer Abwandlung auf einem kompakten Metallblock oder -stab anstelle von Metallaminaten basieren.

[0032] Die Laminatplatten **42** werden vorzugsweise aus amorphen Metallschichten hergestellt. Allerdings ist das Metall nicht notwendig amorph und kann eine kristalline Struktur aufweisen. Das Metall kann auf Stahl, Eisen, Siliziumstahl oder -eisen (d.h. nicht orientiertem Siliziumstahl), Nickelstahl oder -eisen, Permenur (FeCoV), Chromnickelstahl oder -eisen, Aluminiumstahl oder -eisen, Aluminiumchromstahl oder -eisen oder einem sonstigen Material mit geringer Koerzitivkraft basieren. Außerdem können die Polstücke **50** gemäß der vorliegenden Erfindung auf Laminatplatten **42** aufgebaut sein, die unter Verwendung unterschiedlicher Metalle aus der obigen Liste hergestellt sind. D.h. benachbarte Platten können aus verschiedenen Metallen bestehen.

[0033] Die Laminatplatten **42** sind vorzugsweise trapezförmig ausgebildet. Allerdings können die Laminatplatten auch eine Ringsektorform aufweisen. Ein Ringsektor ist ein Trapez mit einer konkaven Ober- oder Schmalseite **43** und einer konvexen Grund- oder Längsseite **44**. Die trapezförmigen Laminatplatten **42** können hergestellt werden, indem auf mehrere Metallbleche ein Klebstoff aufgetragen wird, und die Laminatbleche anschließend zu trapezförmigen Platten zugeschnitten werden.

[0034] Wie in [Fig. 2B](#) und [Fig. 2C](#) gezeigt, enthält die kreisförmige Polstückbasis **51** einen Stützring **52**, der dazu dient, Laminatplatten **42** aufzunehmen und den magnetischen Fluss in einen zwischen den Magneten vorhandenen Spalt zu lenken. Die gesamte

kreisförmige Basis **51** und der Ring **52** sind mit trapezförmigen Laminatplatten **42** ausgefüllt. Die Basis **51** und der Ring **52** werden gelegentlich als "Polschuh" bezeichnet. Alternativ wird der Ring **52** gelegentlich als "Randtrimmelement" bezeichnet. [Fig. 2B](#) zeigt eine Draufsicht auf das Polstück **50**, während [Fig. 2C](#) eine längs der Schnittlinie C-C' in [Fig. 2B](#) geschnittene Ansicht zeigt. Die Laminatplatten sind in konzentrischen Ringanordnungen oder Ringen **53** bis **62** angeordnet. Der Vorteil der trapezförmigen oder Ringsektorform der Laminatplatten **42** ist aus [Fig. 2B](#) klar ersichtlich. Sämtliche Laminatplatten können in Größe und Gestalt übereinstimmen. Es werden daher keine unregelmäßig geformten Randfüllplatten benötigt, um die Basis **51** und den Ring **52** auszufüllen. Die Kosten und die Komplexität des Verfahrens des Zusammenbaus des Laminatplatten-Polstücks sind auf diese Weise reduziert.

[0035] Um einen Vorsprung in der Nähe des Zentrums der Basis **51** zu bilden, können beispielsweise die konzentrischen Plattenringanordnungen **53–57** in der Nähe des Zentrums der Basis **51** eine größere Dicke (d.h. von der Basis **51** aus gemessen – Höhe) aufweisen als konzentrische Plattenringanordnungen **58, 60** und **61**, die sich in der Nähe des Umfangs der Basis **51** befinden. Auch für den Vorsprung sind keine unregelmäßig geformten Randfüllplatten erforderlich. Optional können die peripheren konzentrischen Ringanordnungen **59** und **62** ebenfalls eine größere Dicke als die peripheren Ringanordnungen **58, 60** und **61** aufweisen. Selbstverständlich sind auch andere Dicken und Konfigurationen der Ringanordnungen möglich. Beispielsweise kann die Anzahl der konzentrischen Ringanordnungen größer oder kleiner als 10 sein. Sämtliche ringförmigen Anordnungen können dieselbe oder eine unterschiedliche Dicke aufweisen. Die Anzahl Ringanordnungen und die spezielle Dicke der Ringanordnungen sollte durch eine Computersimulation des magnetischen Feldflusses ermittelt werden, der zwischen MRI-Systemmagneten durch das Polstück **50** verläuft. In einer Abwandlung kann die zentrale Ringanordnung **53** ein Eisenkern sein, an dem sich eine Gradientenmagnetspule befestigen lässt.

[0036] Außerdem können die Ringanordnungen durch Aufeinanderstapeln mehrerer Laminatplatten **42** ausgebildet werden. Die dickeren konzentrischen Ringanordnungen können aus einer größeren Anzahl gestapelter Laminatplatten als die dünneren Ringanordnungen aufgebaut sein. Der Raum zwischen dem oberen Rand des Polstückstützrings **52** und den Laminatplatten kann optional durch passive Trimmelemente gefüllt sein.

[0037] Ausführungsbeispiele von Magnetfeld erzeugenden Vorrichtungen, die für Magnetresonanzbildung, MRI ("MRI-Systeme") gemäß der vorliegenden Erfindung verwendet werden, sind in [Fig. 3A](#) und

[Fig. 3B](#) zu sehen. Zu dem in [Fig. 3A](#) gezeigten MRI-System gehören zwei Plattenjoche **71A** und **71B** und mindestens zwei, und vorzugsweise vier säulenförmige Joche **71C** und **71D**. In einer Abwandlung kann ein MRI-System mit einem in Form eines einzelnen "C" geformten Jochs **71**, wie in [Fig. 3B](#) gezeigt, verwendet werden. Die MRI-Systeme enthalten Magnete **72, 72'**, die an Jochoberflächen befestigt sind, Polstückbasen **51, 51'** und Stützringe **52, 52'**, die an den Magneten **72, 72'** befestigt sind, und Laminatplatten-Polstücke **74, 74'**, die an den Polstückbasen und Stützringen befestigt sind. Zwischen den Polstücken ist ein Spalt **73** ausgebildet. Ein abzubildender Körperabschnitt wird in den Spalt **73** eingeführt.

[0038] Die Magnete **72, 72'** können auf Permanentmagneten wie RFeB-, RCoFeB- oder SmCo-Magneten oder auf elektromagnetischen Magneten basieren, z. B. auf einer leitenden oder supraleitenden Spule, die um einen Magnetkern gewickelt ist. Die MRI-Systeme können ferner optional Gradientenspulen oder Trimmelemente enthalten, wie sie in den [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) mit **75, 75'** bezeichnet gezeigt sind. Außerdem können die MRI-Systeme optional zwischen der Basis und den Laminatplatten eine isolierende Schicht mit geringer magnetischer Permeabilität aufweisen, z. B. Bakelit, Kunstharz, Holz oder eine Keramik, um den Remanenzmagnetismus in den Polstücken zu reduzieren.

[0039] Die MRI-Systeme können ferner eine elektronische Schaltung **76** und ein Display **77** enthalten. Die elektronische Schaltung **76** kann ein Steuersystem, einen Sender, einen Empfänger, einen Bildwandler und/oder einen Speicher aufweisen.

[0040] Die optimale Kontur der Laminatplatten-Polstücke wird anhand einer Simulation des magnetischen Flusses zwischen dem oberen Magneten **72** und dem unteren Magneten **73** bestimmt. Beispielsweise kann die Simulation auf einem herkömmlichen Rechenverfahren nach der Methode der finiten Elemente basieren. Die optimale Höhe für jede Polstückanordnung **53–62** der konzentrischen Ringanordnung wird durch die Simulation ermittelt.

[0041] Das Laminatplatten-Polstück **50**, das die konzentrischen Ringanordnungen enthält, wird vorzugsweise unter Verwendung einer Pressform und eines Pressformverfahrens der vorliegenden Erfindung hergestellt. Ein Ausführungsbeispiel der Pressform **100** ist in [Fig. 4A](#) und [Fig. 4B](#) gezeigt. [Fig. 4B](#) zeigt eine geschnittene Ansicht längs der Schnittlinie A-A' in [Fig. 4A](#). Die Pressform weist eine Bodenfläche **101**, eine Seitenoberfläche **102** und eine Abdeckplatte **103** auf. Weiter gehören zu der Pressform eine oder mehrere Epoxidharzeinlassöffnungen **104** und eine oder mehrere Luftauslassöffnungen **105**. Die Öffnung(en) **104** ist (sind) vorzugsweise in der

unteren Pressformoberfläche **101** ausgebildet, und die Öffnung(en) **105** ist (sind) vorzugsweise in der Abdeckplatte **103** ausgebildet. Die Pressformbodenfläche **101** und die Abdeckplatte **103** sind vorzugsweise mittels Bolzenschrauben **106** an der Seitenwand **102** befestigt. Allerdings kann die Bodenfläche **101** und die Seitenoberfläche **102** in einer Abwandlung auf einem einteiligen Körper basieren, und die Abdeckplatte **103** kann an der Seitenwand **102** auf sonstige Weise, beispielsweise durch einen Riegel befestigt sein. Die Pressform **100** weist optionale Griffe **107** auf.

[0042] Die Pressform weist vorzugsweise eine nicht gleichförmige Hohlräumoberflächenkontur auf. Vorzugsweise wird die nicht gleichförmige Kontur durch Anbringen von Abstandhaltern an der Formhohlraumoberfläche **101** festgelegt. Vorzugsweise bilden die Abstandhalter eine Anzahl konzentrischer Ringanordnungen **153–162** um die kreisförmige Pressformbodenfläche **101**. Die Abstandhalter **153–162** können mittels Schrauben **108** oder Klebstoff an der Formhohlraumoberfläche **101** befestigt sein. Vorzugsweise weisen die Abstandhalter eine zylindrische Gestalt auf. Allerdings können die Abstandhalter mit einer beliebigen anderen Gestalt ausgebildet sein.

[0043] Wie in [Fig. 4B](#) gezeigt, weisen Abstandhalter, die sich in verschiedenen konzentrischen Ringanordnungen **153–162** befinden, eine verschiedene Höhe oder Dicke auf. Vorzugsweise sind in dem Polstück ebensoviele Abstandhalter **153–162** wie Laminatplatten **42** vorhanden. Jeder Abstandhalter entspricht einer speziellen Polstückplatte. Die Abstandhalterfläche in der Pressform bildet gegenüber der konzentrischen Ringplattenanordnungskontur des Polstücks eine im Wesentlichen inverse Kontur. D.h., falls die Polstückringanordnung, z. B. die Plattenanordnung **62**, eine große Höhe oder Dicke aufweist, hat das entsprechende Abstandhalterarray in der Pressform, z. B. das Abstandhalterarray **162**, eine geringe Höhe oder Dicke. Falls die Polstückringanordnung, z. B. die Plattenanordnung **61**, eine geringe Höhe oder Dicke aufweist, weist das entsprechende Abstandhalterarray in der Pressform, z. B. das Abstandhalterarray **161** eine große Höhe oder Dicke auf. "Im Wesentlichen invers" bedeutet, dass sich die Abstandhalterkontur von der Plattenkontur unterscheiden kann. Beispielsweise sind die Platten durch einen Epoxidharzkleber aneinander befestigt, wobei zwischen den Abstandhaltern Spalte **109** vorhanden sein können. Somit weist die Abstandhalterkontur ebenfalls die Spalte **109** auf, während die Plattenkontur die dünnen Vorsprünge nicht aufweist, die den Spalten entsprechen würden. Außerdem können in den Konturen andere geringe vertikale und horizontale Abweichungen vorhanden sein.

[0044] Folglich ist die Kontur der nicht gleichförmigen

Formhohlraumoberfläche **110**, wie in [Fig. 4C](#) gezeigt, gegenüber einer Laminatplattenpolstückkontur **114** invers. Die Kontur des Laminatplatten-Polstücks wird bestimmt, indem eine magnetische Flusssdichte zwischen den MRI-Systemmagneten für verschiedene Plattenkonturen simuliert werden, und anschließend diejenige Plattenkontur **114** gewählt wird, die den optimalen magnetischen Fluss zwischen den MRI-Systemmagneten erzeugt. Die anhand einer finite Elemente verwendenden Simulation eines Feldes zwischen zwei hypothetischen MRI-Systemmagneten gewonnenen magnetischen Flusslinien werden der Draufsicht der Pressform in [Fig. 4A](#) überlagert.

[0045] In einer Abwandlung kann die nicht gleichförmige Formhohlraumoberflächenkontur, wie in [Fig. 4D](#) gezeigt, ohne den Einsatz von Abstandhaltern **153–162** hergestellt werden. In [Fig. 4D](#) ist die Formhohlraumoberfläche selbst unregelmäßig geformt, um eine nicht gleichförmige Kontur **110** zu bilden. Die Kontur **110** weist Vorsprünge **111** und Aussparungen **112** auf. Die Vorsprünge **111** bilden mehrere konzentrische Ringanordnungen, deren Kontur gegenüber der Polstückkontur im Wesentlichen invers ist. Wie im Falle der in [Fig. 4B](#) gezeigten Pressform sollte jeder Vorsprung **111** einer einzelnen Platte **42** des Polstücks entsprechen.

[0046] Ein Verfahren zur Herstellung des Laminatplatten-Polstück gemäß der vorliegenden Erfindung ist in [Fig. 5](#) und [6](#) veranschaulicht. Der Formhohlraum und die Abstandhalter werden zunächst mit einem Trennmittel beschichtet. Die Laminatplatten **42** werden anschließend, wie in [Fig. 5A](#) gezeigt, in konzentrischen Ringplattenanordnungen **53–62** in dem Formhohlraum angeordnet. Die Platten werden auf der Oberseite der entsprechenden konzentrischen ringförmigen Abstandhalteranordnungen **153–162** gestapelt. Selbstverständlich können die Abstandhalter durch die Vorsprünge nach [Fig. 4C](#) ersetzt werden. Jede Platte sollte, wie in [Fig. 5B](#) gezeigt, genau einen Abstandhalter überdecken. Die Höhe jeder Platte und jedes Abstandhalterstapels sollte mit der Höhe des Formhohlraums übereinstimmen, so dass die Oberseite der Plattenanordnungen **53–62** auf gleicher Höhe mit dem oberen Rand des Formhohlraums liegt. Sämtliche Abweichungen aufgrund von Toleranzen der Plattenhöhe werden in Form eines kleinen Spalts in der Nähe des oberen Rands der Pressformdeckelplatte **103** aufgefangen. Alternativ kann jede Platte, wie in [Fig. 5C](#) gezeigt, mit Klebeband **123** an ihrem entsprechenden Abstandhalter befestigt sein.

[0047] Die Pressform wird anschließend mit der Abdeckplatte **103** bedeckt, und durch die Einlassöffnung **104** wird eine Klebersubstanz in die Pressform eingebracht. Die Klebersubstanz ist vorzugsweise ein synthetisches Epoxidharz. Das Epoxidharz setzt

sich nicht an dem Formhohlraum und dem Abstandhalter fest, da diese mit dem Trennmittel beschichtet sind. Das Epoxidharz dringt zwischen die einzelnen Platten ein und verdrängt jede eventuell in der Pressform eingeschlossene Luft durch Auslassöffnung(en) **105**. Das Epoxidharz **113** verbindet die einzelnen Platten zu einem einteiligen Körper **120**, der aus konzentrischen Ringplattenanordnungen **53–62** unterschiedlicher Höhe aufgebaut ist. In einer Abwandlung kann das Epoxidharz entweder durch die obere Öffnung **105** oder sowohl durch obere als auch durch untere Öffnungen eingeführt werden.

[0048] Die Pressformdeckelplatte **103** wird von der Pressform abgenommen, und der einteilige Plattenkörper **120** wird aus der Pressform **100** entfernt. Der einteilige Körper **120** wird anschließend, wie in **Fig. 6A** und **Fig. 6B** gezeigt, mit seiner flachen (oberen) Seite an der Polstückbasis **51** und dem Ring **52** angebracht. Die Basis **51**, der Ring **52** und der einteilige Plattenkörper umfassen das Polstück **50**. Der einteilige Plattenkörper **120** kann an der Basis **51** mittels Epoxidharz, Klebstoff und/oder Bolzenschrauben angebracht sein.

[0049] Das zweite Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung ist in den **Fig. 7A** bis **Fig. 7D** gezeigt. In dem zweiten Ausführungsbeispiel ist wenigstens eine Platte **42**, wie in **Fig. 7A** und **Fig. 7C** gezeigt, mit einem Hohlraum **121** in ihrer Stirnfläche ausgebildet. Der Hohlraum kann ausgebildet werden, indem das Epoxidharz **113** unter hohem Druck in die Pressform **110** eingebracht wird. Das unter hohem Druck stehende Epoxidharz strömt über die konzentrischen Ringplattenanordnungen **53–62** und drückt die Plattenanordnungen gegen den zylindrischen Abstandhalter **153–162** oder gegen die Vorsprünge **111** in dem Formhohlraum. Die Fläche jedes Abstandhalters oder Vorsprungs ist kleiner als die Fläche der entsprechenden Platte. Folglich bildet der Druck der vergleichsweise weicheren Platten gegen den Abstandhalter oder die Vorsprünge, wie in **Fig. 7A–Fig. 7B** gezeigt, Hohlräume **121** in den Platten. Die Hohlräume können mit passiven Trimmelementen oder kleinen Permanentmagneten gefüllt sein.

[0050] In **Fig. 2A** sind die Laminatschichten in Richtung entlang der Höhe oder Dicke der Laminatplatte **42** geschichtet. In einem dritten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung sind die Laminatschichten **91**, **92**, **93**, **94** allerdings, wie in **Fig. 8** gezeigt, längs der Breite der Laminatplatte **42** gestapelt oder geschichtet. Die Laminatplatte **42** kann erzeugt werden, indem ein dicker Stapel oder eine Wicklung aus mittels Epoxidharz verbundenen Metallschichten ausgebildet, eine Platte von dem Stapel oder der Spule abgeschnitten und die Platte zur Seite gedreht wird.

[0051] Die Laminatplatte **42** ist, wie in **Fig. 9A** gezeigt, an der Polstückbasis **51** mit der Laminationsrichtung senkrecht zu der Richtung des magnetischen Flusses befestigt (d.h. senkrecht zu einer imaginären Linie zwischen dem unteren Magneten **72'** und dem oberen Magneten **72**). Mit anderen Worten, die Laminationsrichtung verläuft parallel zu der Ebene der konzentrischen Ringplattenanordnungen. Der Vorteil dieses Ausführungsbeispiels basiert auf einer verbesserten Stabilität des magnetischen Feldes und eine Verringerung von Wirbelstrom- und Hystereseeffekten. In einer Abwandlung kann die Laminatplatte **42**, wie in **Fig. 9B** gezeigt, am Rand eines anderen Polstückelements **90** befestigt sein, um seitlichen magnetischen Streufluss zu reduzieren. Das Element **90** kann selbst auf mehreren Laminatplatten **42** basieren, wobei die Schichten im wesentlichen parallel zu der Richtung des magnetischen Flusses geschichtet sind. Mit anderen Worten, die Laminationsrichtung verläuft senkrecht zu der Laminationsrichtung der Platten **42** und senkrecht zu der Ebene der konzentrischen Ringplattenanordnungen.

[0052] In einem vierten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung können Laminatplatten, deren Laminationsrichtungen sich um 90° unterscheiden, aneinander befestigt sein. Eine derartige Anordnung verbessert die Homogenität des magnetischen Feldes in dem Spalt **73**. Beispielsweise kann, wie in **Fig. 10A** gezeigt, eine Laminatplatte **42** an der Laminatplatte **42** befestigt sein, um eine kombinierte Platte **91** zu bilden. In einer Abwandlung können, wie in **Fig. 10B** gezeigt, zwei Platten **42** aneinander befestigt sein, um eine kombinierte Platte **91'** zu bilden. Selbstverständlich können auch zwei Platten **42** miteinander verbunden sein, wobei deren Laminationsrichtungen um 90 Grad zueinander geneigt ist. Die kombinierten Platten **91** und **91'** können mit einer beliebigen dem Spalt **73** des MRI-Systems gegenüberliegenden Fläche an der Polstückbasis **51** befestigt werden. Kombinierte Platten **91** und **91'** können auch auf einzelnen Platten basieren, die aus verschiedenen der oben aufgelisteten Metalle hergestellt sind.

[0053] Es wurden Laminatplatten beschrieben, die für das Polstück eines MRI-Systems geeignet sind. Allerdings fallen auch andere Nutzungsmöglichkeiten für die Laminatplatten und die Laminatplattenherstellungsverfahren in den Schutzbereich der vorliegenden Erfindung. Die Pressform kann auch verwendet werden, um einteilige Körper für andere Zwecke als dem Polstück eines MRI-Systems herzustellen. Außerdem kann es in einigen Anwendungen vorteilhaft sein, anstelle von trapezförmigen Platten Laminatstäbe zu verwenden. In diesem Fall können die Laminatstäbe für die Zwecke der vorliegenden Erfindung als "Laminatplatten" betrachtet werden.

Patentansprüche

1. Polstück (**50**) für ein Magnetresonanz-Bildgebungs(MRI)-System mit:
einer ersten Fläche des Polstücks, die für eine Platzierung zu einem zwischen MRI-Systemmagneten angeordneten Bildgebungszwischenraum hin eingerichtet ist, gekennzeichnet durch:
mehrere trapezförmige oder ringsektorförmige Platten (**42**), die in mehreren konzentrischen ringförmigen Anordnungen (**53–62**) in der ersten Fläche des Polstücks (**50**) angeordnet sind.

2. Polstück nach Anspruch 1, wobei:
die Platten (**42**) mehrere laminierte Schichten aufweisen; und
eine Höhe einer ersten konzentrischen Ringanordnung größer als eine Höhe einer zweiten konzentrischen Ringanordnung ist.

3. Polstück nach Anspruch 2, wobei;
die mehreren konzentrischen Ringanordnungen (**53–62**) einen mit einer Basis verbundenen einteiligen Plattenkörper aufweisen;
eine erste Platte, die von einer zweiten Platte durch eine Kleberschicht getrennt ist;
wenigstens eine Platte einen Hohlraum in der ersten Fläche enthält; und
der Hohlraum durch einen Trimm- oder einen Hilfsmagneten über der ersten Fläche gefüllt ist.

4. Polstück nach Anspruch 1, wobei das Polstück (**50**) für eine Platzierung angrenzend an einen ersten Magneten eines Magnetresonanz-Bildgebungs-(MRI)-Systems angepasst ist, wobei die mehreren trapezförmigen oder ringsektorförmigen Platten (**42**), die in mehreren konzentrischen Ringanordnungen (**53–62**) in einer Ebene angeordnet sind, dafür eingerichtet sind, dass sie senkrecht zu einer Richtung eines Magnetfeldes des ersten Magneten liegen.

5. Polstück nach Anspruch 4, wobei die Platten (**42**) in einer Ebene angeordnet sind, die so angepasst ist, dass sie senkrecht zu einer Richtung eines Magnetfeldes des ersten Magneten liegt.

6. Polstück nach Anspruch 5, wobei:
die Platten (**42**) mehrere laminierte Schichten (**21, 22, 23, 31**) aufweisen; und
eine Höhe einer ersten konzentrischen Ringanordnung größer als eine Höhe einer zweiten konzentrischen Ringanordnung ist.

7. Polstück nach Anspruch 6, wobei;
die mehreren konzentrischen Ringanordnungen (**53–62**) einen mit einer Basis verbundenen einteiligen Plattenkörper aufweisen; und
eine erste Platte (**42**) von einer zweiten Platte durch eine Kleberschicht getrennt ist.

8. Polstück nach Anspruch 1, mit:
der ersten Fläche, die eine erste Oberfläche ist;
einer zweiten Oberfläche des Polstücks (**50**), die für eine Verbindung mit und parallel zu einer Polstückbasis angepasst ist;
einer Seitenoberfläche des Polstücks; und
wobei die mehreren trapezförmigen und ringsektorförmigen Platten (**42**) in mehreren konzentrischen Ringanordnungen (**53–62**) in einer Ebene parallel zu den ersten und zweiten Oberflächen des Polstücks angeordnet sind.

9. Polstück nach Anspruch 8, wobei die Platten mehrere laminierte Schichten (**21, 22, 23, 31**) aufweisen; und

10. Polstück nach Anspruch 8, wobei eine Höhe einer ersten konzentrischen Ringanordnung größer als eine Höhe einer zweiten konzentrischen Ringanordnung ist.

11. Polstück nach Anspruch 10, wobei die Oberflächenkontur der mehreren konzentrischen ringförmigen Anordnungen (**53–62**) eine umgekehrte Kontur einer nicht gleichförmigen Formhohlraumoberfläche bildet.

12. Polstück nach Anspruch 8, wobei:
die mehreren konzentrischen ringförmigen Anordnungen (**53–62**) einen einteiligen Plattenkörper (**120**) aufweisen;
der einteilige Plattenkörper (**120**) mit der Polstückbasis (**51**) verbunden ist; und
ein Abschnitt der Polstückbasis (**51**) die Seitenoberfläche des Polstücks aufweist.

13. Polstück nach Anspruch 8, wobei eine erste Platte (**42**) von einer zweiten Platte (**42**) durch eine Kleberschicht getrennt ist;

14. Polstück nach Anspruch 9, wobei die Laminationsrichtung der Plattenschichten parallel zu einer Ebene jeder konzentrischen ringförmigen Anordnung (**53–62**) liegt.

15. Polstück nach Anspruch 9, wobei die Laminationsrichtung der Plattenschichten senkrecht zu einer Ebene jeder konzentrischen ringförmigen Anordnung (**53–62**) liegt.

16. Polstück nach Anspruch 9, welches ferner eine erste Platte aufweist, die laminierte Schichten enthält, die über einer laminierte Schichten enthaltenden zweiten Platte angebracht ist, um eine kombinierten laminierte Platte zu bilden.

17. Polstück nach Anspruch 9, wobei die Schichtlaminationsrichtung der ersten Platte senkrecht zu der Schichtlaminationsrichtung des zweiten Plattes liegt.

18. Polstück nach Anspruch 8, wobei wenigstens eine Platte einen Hohlraum in der Plattenfläche enthält.

19. Polstück nach Anspruch 18, wobei der wenigstens eine Hohlraum durch einen Trimm- oder einen Hilfsmagneten gefüllt ist.

20. Polstück nach Anspruch 9, ferner mit:
 einem Joch;
 einem ersten Magneten, der eine an einem ersten Abschnitt des Jochs angebrachte erste Seite und eine an der Basis des Laminatplatten-Polstücks angebrachte zweite Seite enthält;
 einem an einem zweiten Abschnitt des Jochs angebrachten zweiten Magneten;
 einem zweiten Polstück, das mehrere zweite Platten aufweist, die an dem zweiten Magneten angebracht sind und dem Laminatplatten-Polstück gegenüberliegen; und
 wobei das Laminatplatten-Polstück und das zweite Polstück an gegenüberliegenden Seiten des Bildgebungszwischenraums angeordnet sind.

21. Polstück nach Anspruch 8, wobei die Anordnungen in einer Ebene parallel zu den ersten und zweiten Oberflächen des Polstücks angeordnet sind.

22. MRI-System mit einem ersten und einem zweiten Polstück (**50, 74**) gemäß Anspruch 1, und ferner mit:
 einem Joch (**74A-D**);
 einem ersten Magneten (**72**) der eine an einem ersten Abschnitt des Jochs angebrachte erste Seite enthält, wobei das erste Polstück (**50, 74**) eine an der zweiten Seite des ersten Magneten angebrachte zweite Fläche hat;
 einem zweiten Magneten (**72'**), der eine an einem zweiten Abschnitt des Jochs angebrachte erste Seite enthält;
 einem zweiten Polstück (**74'**) mit einer ersten Oberfläche, die an einer zweiten Seite des zweiten Magneten angebracht ist, wobei der Bildgebungszwischenraum (**73**) zwischen der ersten Fläche des ersten Polstücks und einer zweiten Oberfläche des zweiten Polstücks so ausgebildet ist, dass die ersten und zweiten Polstücke auf gegenüberliegenden Seiten des Bildgebungszwischenraums angeordnet sind.

23. MRI-System nach Anspruch 22, wobei das zweite Polstück mehrere trapezförmige oder ringsektorförmige Platten (**42**) aufweist, die in mehreren konzentrischen ringförmigen Anordnungen in der zweiten Oberfläche des Polstücks (**50**) angeordnet sind.

24. MRI-System nach Anspruch 23, wobei:
 die Platten des ersten und zweiten Polstücks mehrere laminierte Schichten aufweisen; und
 eine Höhe einer ersten konzentrischen Ringanordnung größer als eine Höhe einer zweiten konzentri-

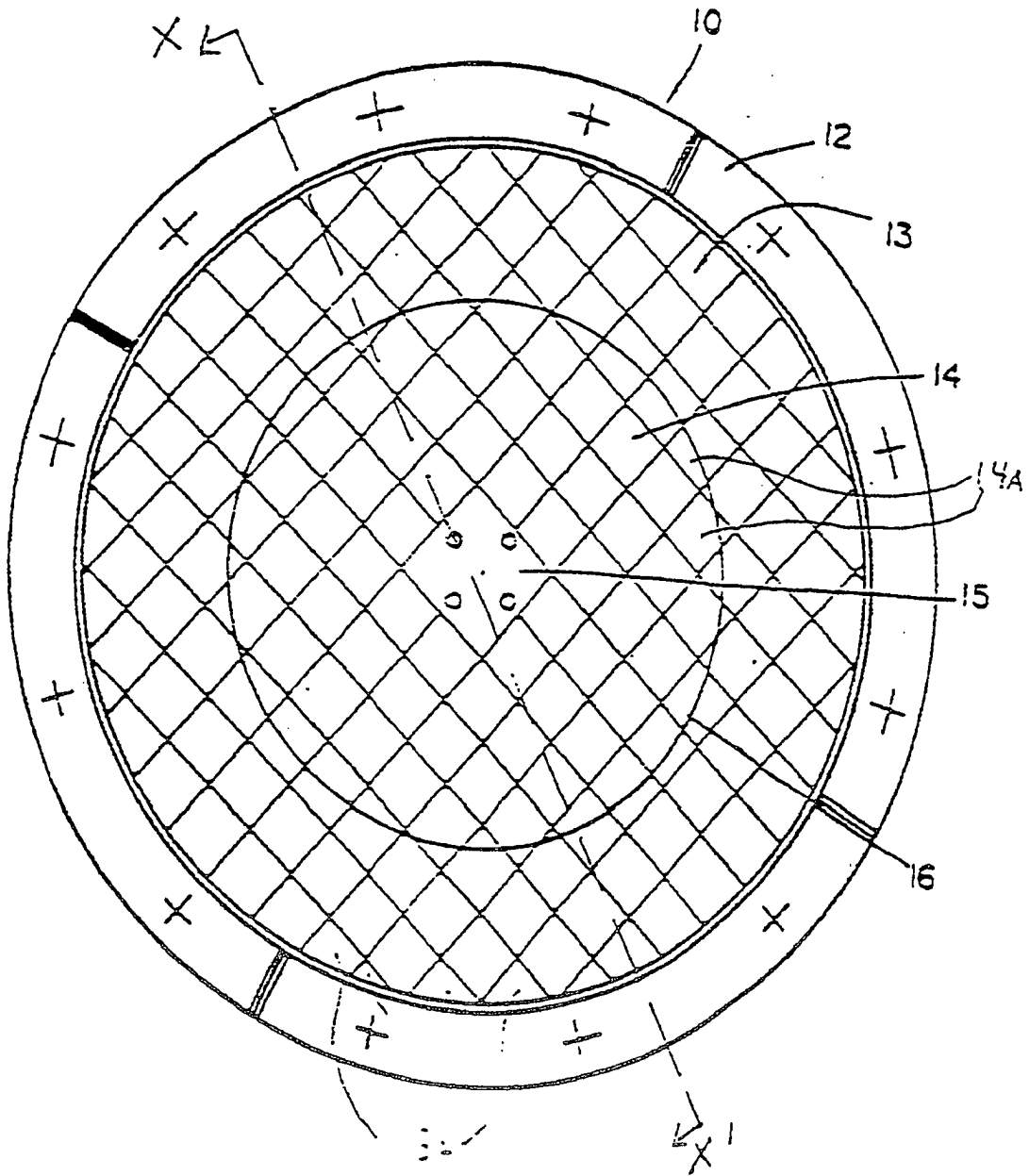
schen Ringanordnung in den ersten und zweiten Polstücken ist.

25. MRI-System nach Anspruch 24, wobei;
 die mehreren konzentrischen Ringanordnungen des ersten Polstücks einen mit einer Basis verbundenen einteiligen Plattenkörper aufweisen;
 die Basis die erste Seite des ersten Polstücks aufweist, das an der zweiten Seite des Magnets angebracht ist;
 und
 eine erste Platte von den mehreren Platten von einer zweiten Platte von den mehreren Platten durch eine Kleberschicht getrennt ist.

26. MRI-System nach Anspruch 22, wobei;
 wenigstens eine Platte einen Hohlraum in der Plattenfläche in der zweiten Oberfläche des ersten Polstücks enthält; und
 der Hohlraum durch einen Trimm- oder einen Hilfsmagneten über der zweiten Oberfläche des Polstücks gefüllt ist.

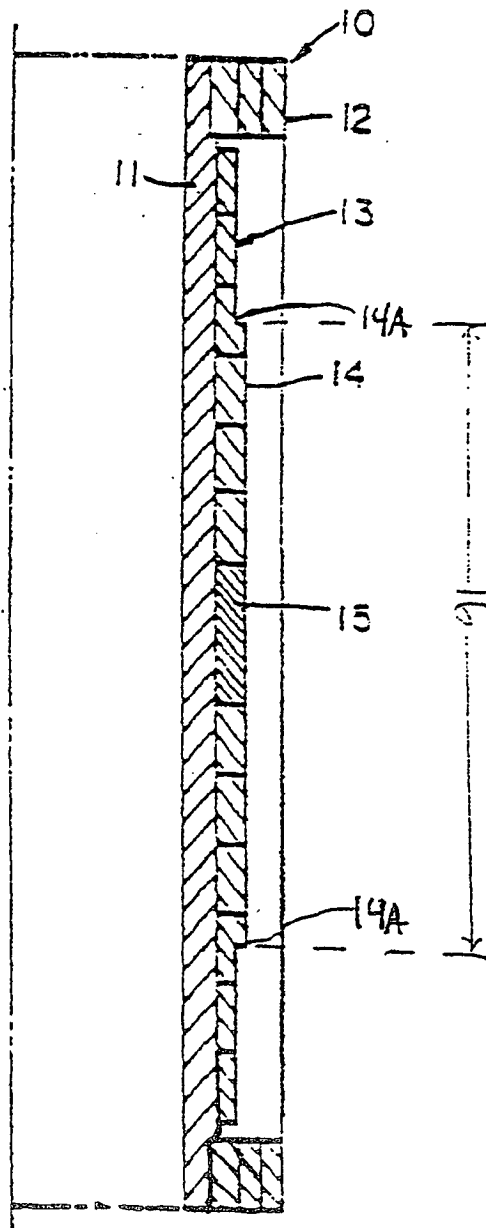
Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

Fig. 1A



Stand der Technik

Fig. 1B



Stand der Technik

50

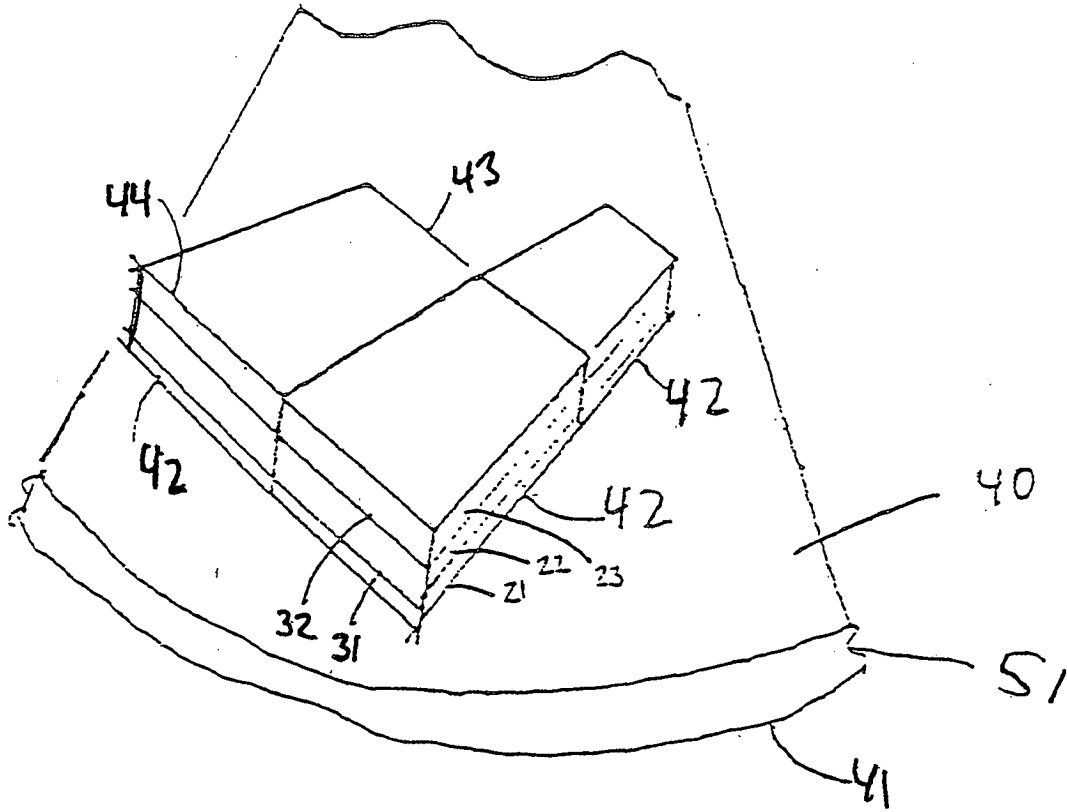


Fig. 2 a

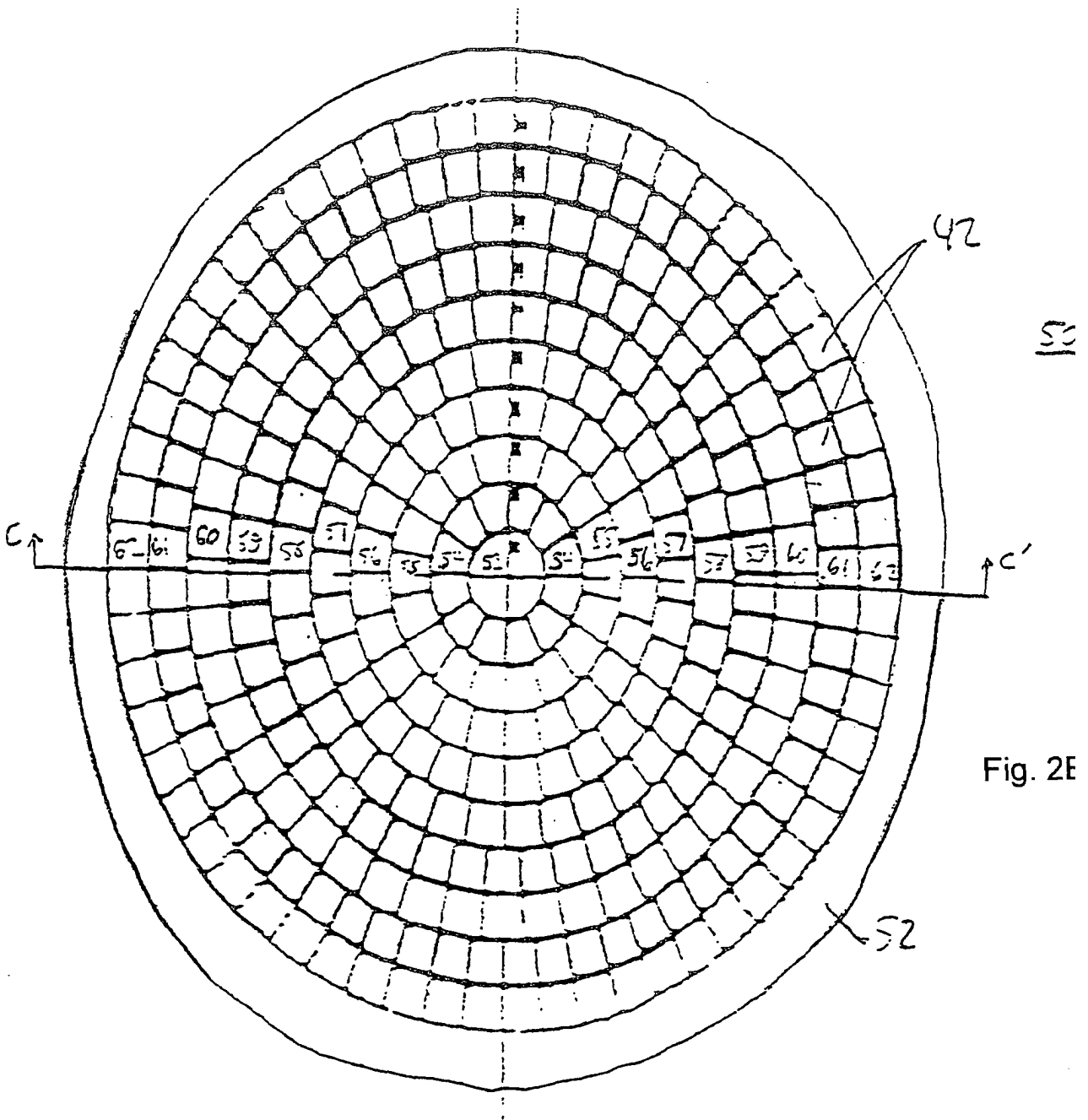


Fig. 2E

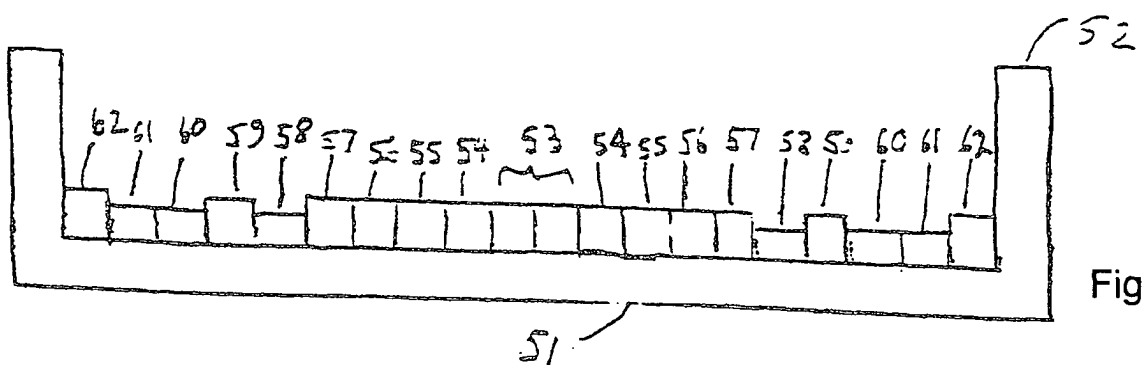


Fig. 2C

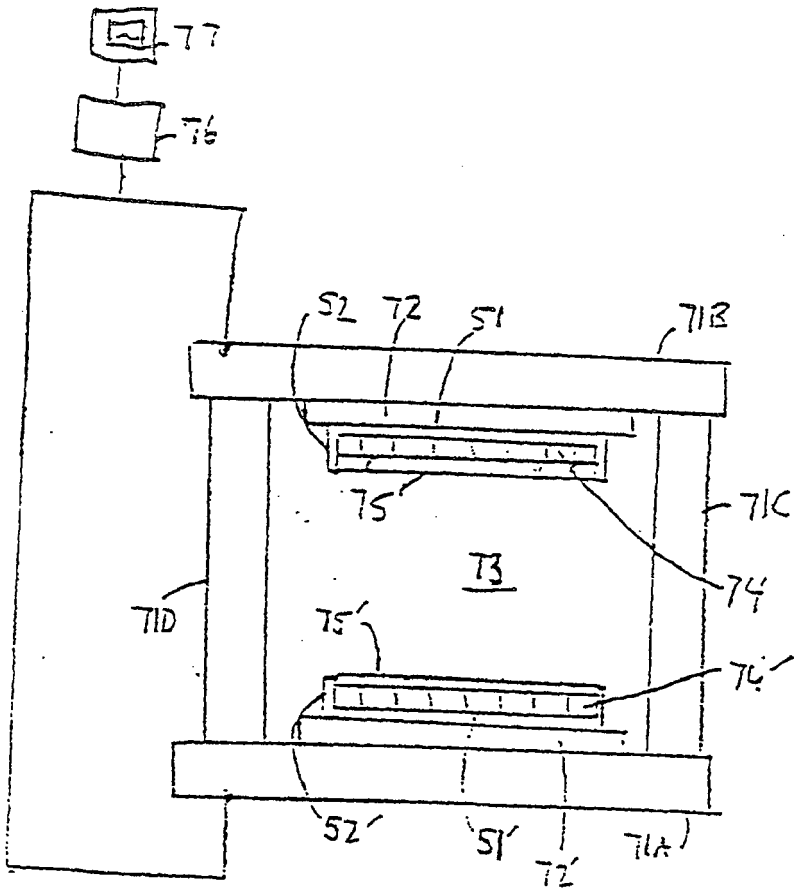


Fig. 3A

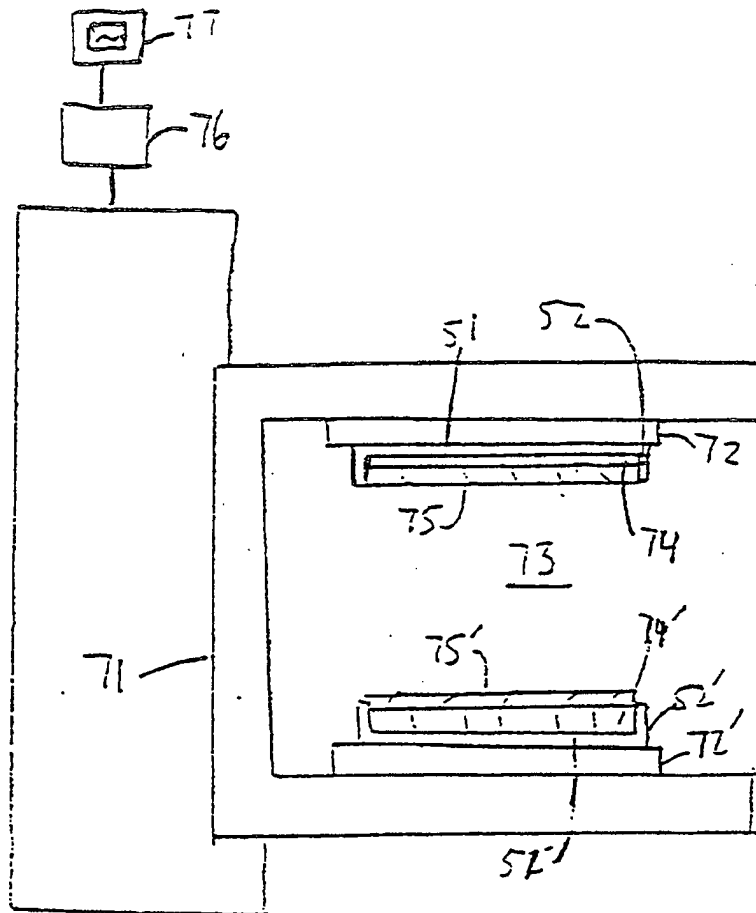


Fig. 3B

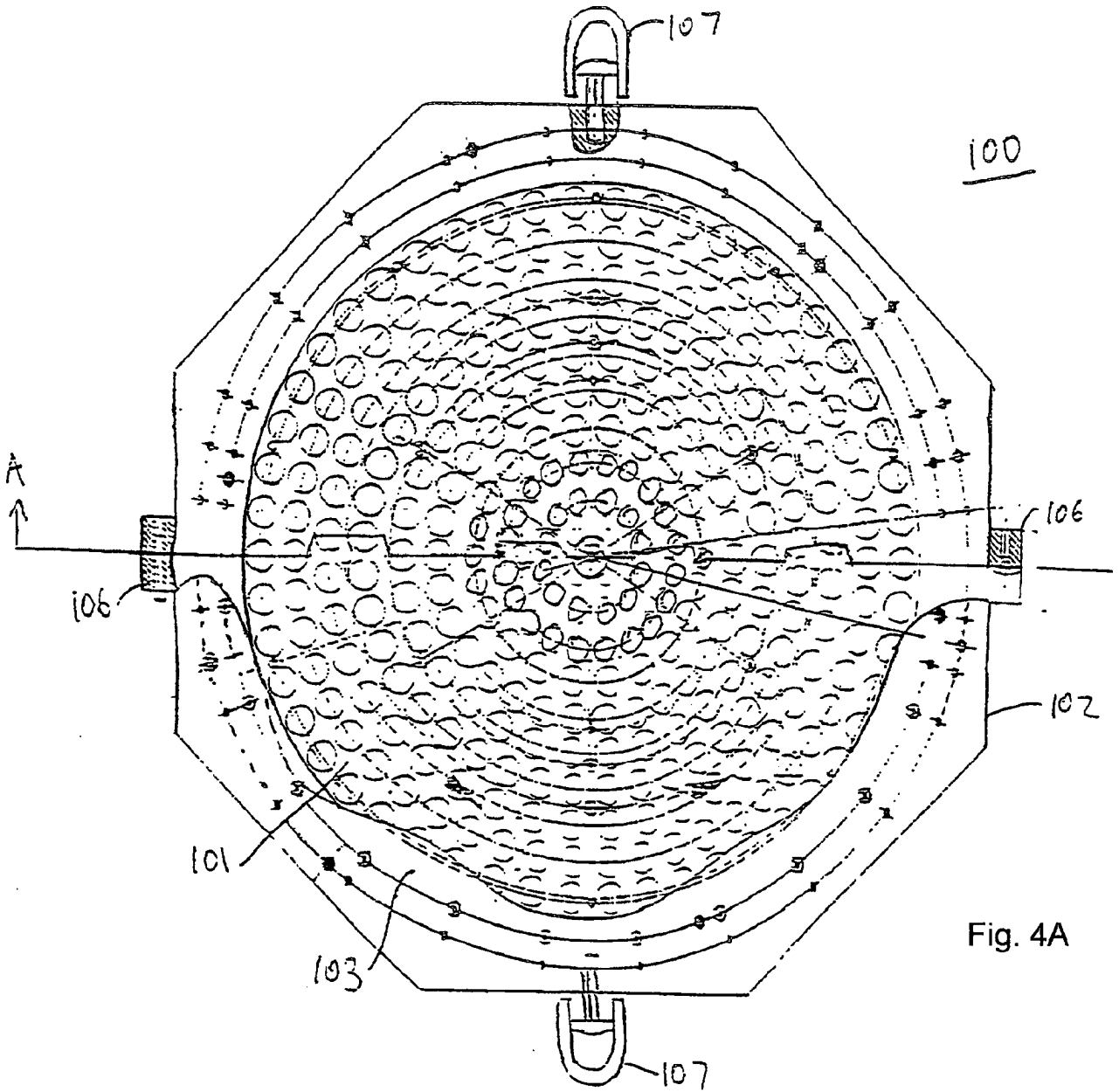


Fig. 4A

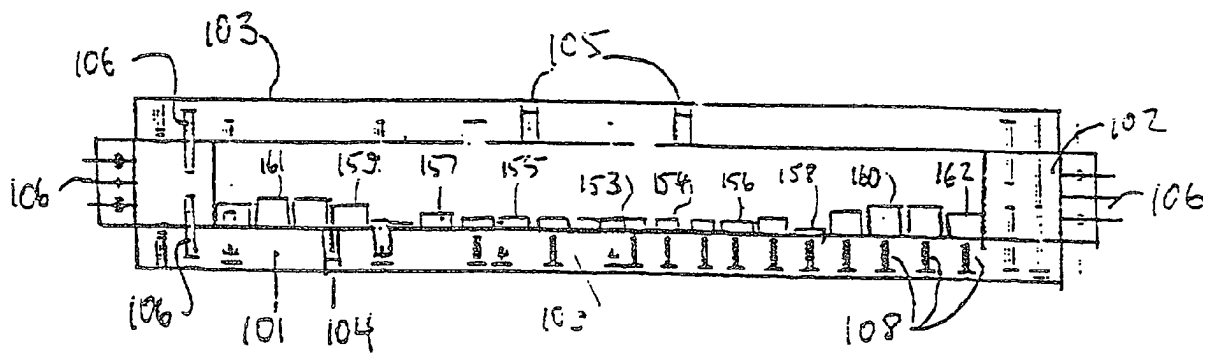


Fig. 4E

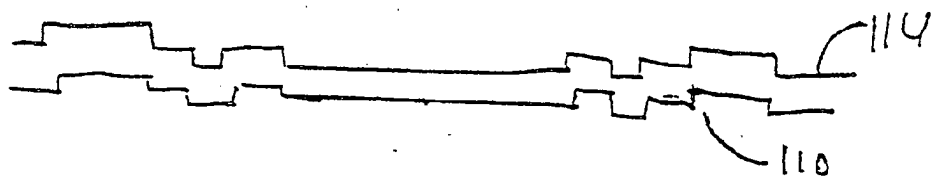


Fig. 4C

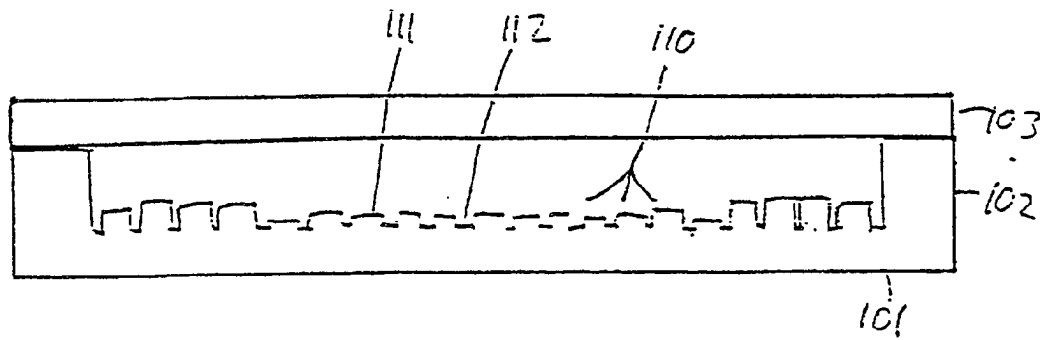


Fig. 4D

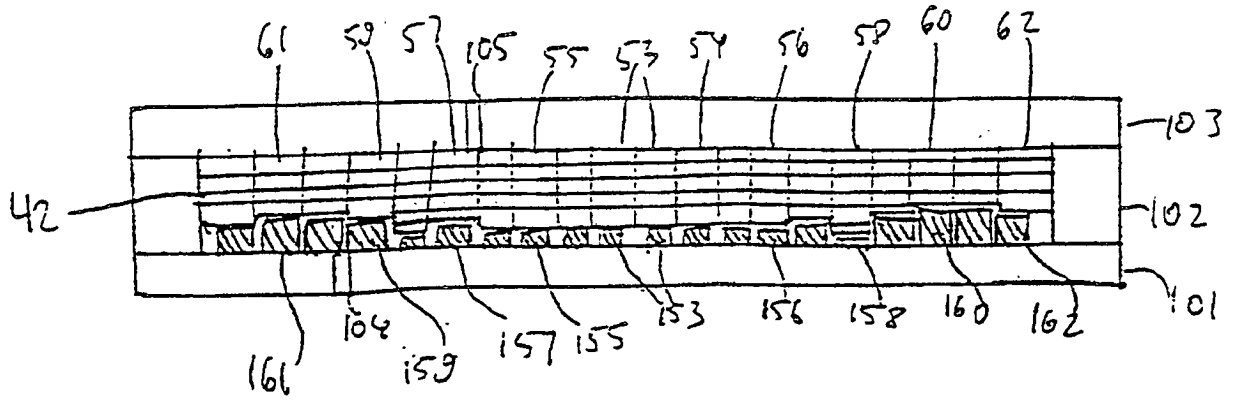


Fig. 5A

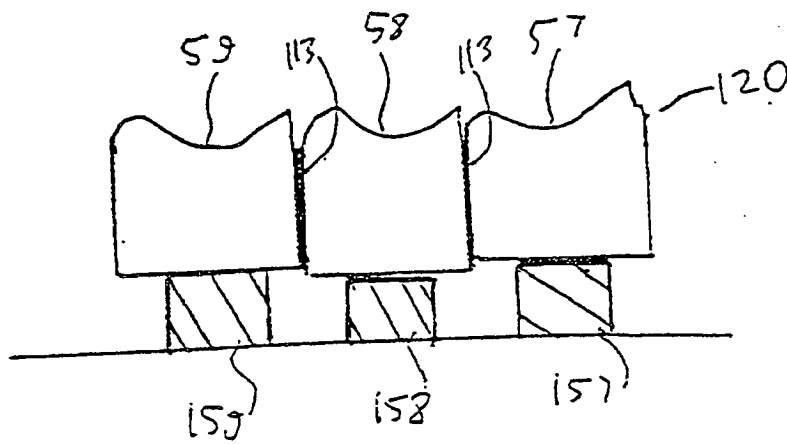


Fig. 5B

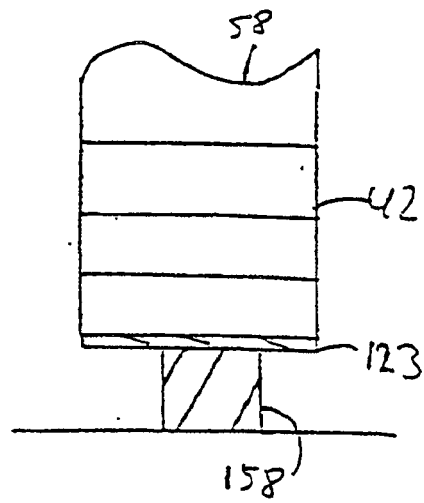


Fig. 5C

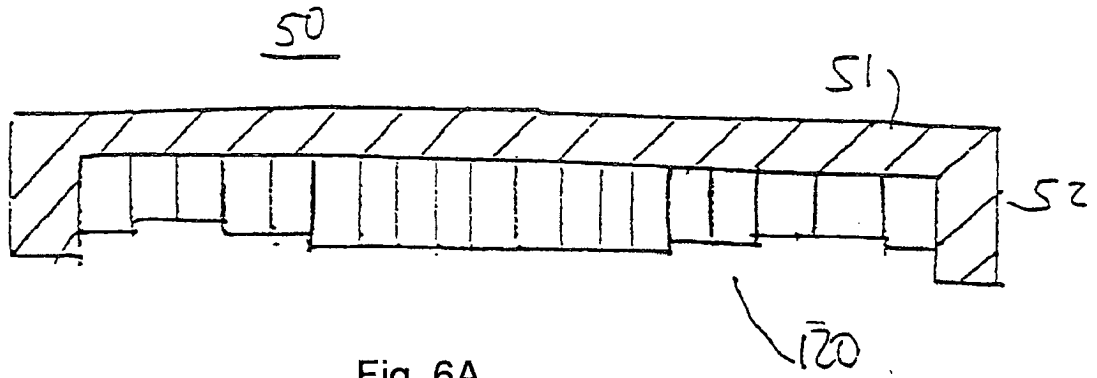


Fig. 6A

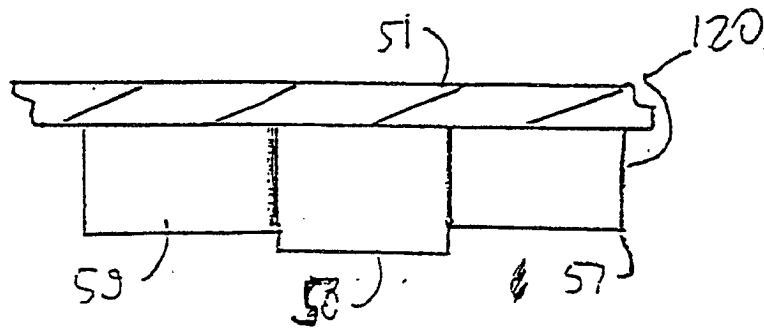


Fig. 6B

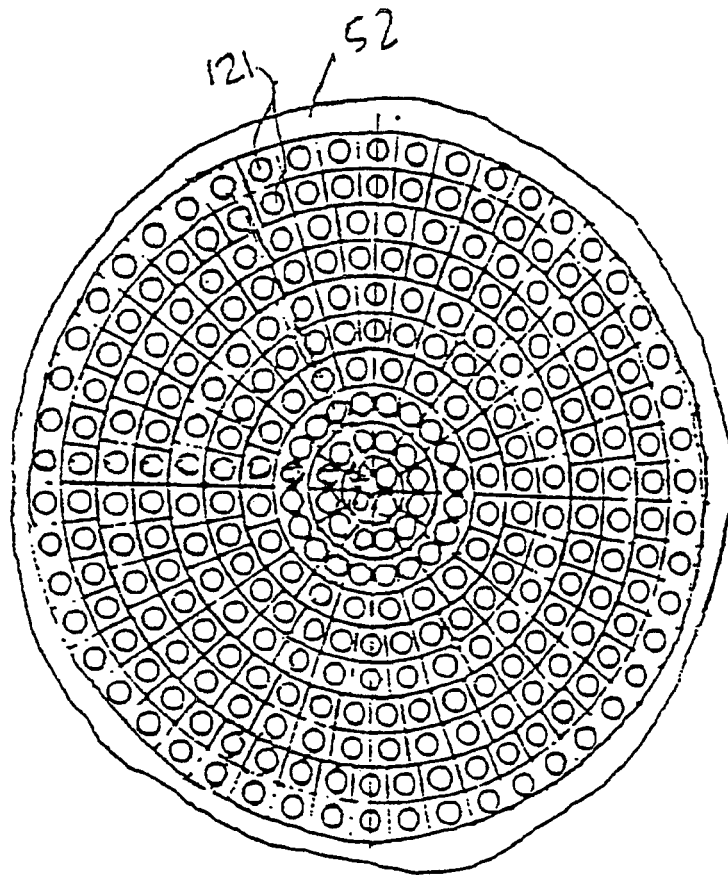


Fig. 7A

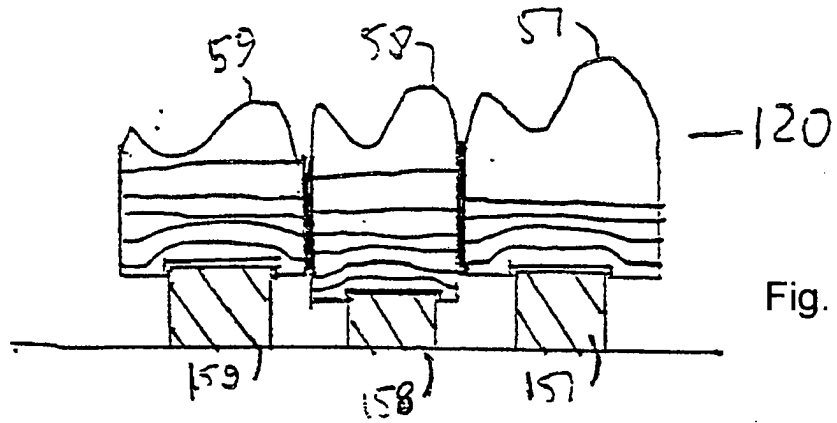


Fig. 7B

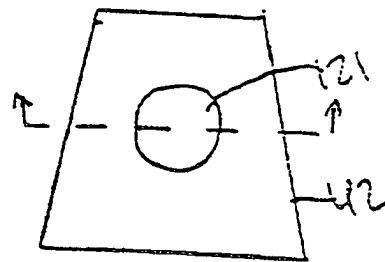


Fig. 7C

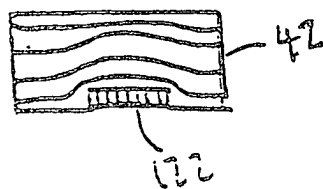


Fig. 7D

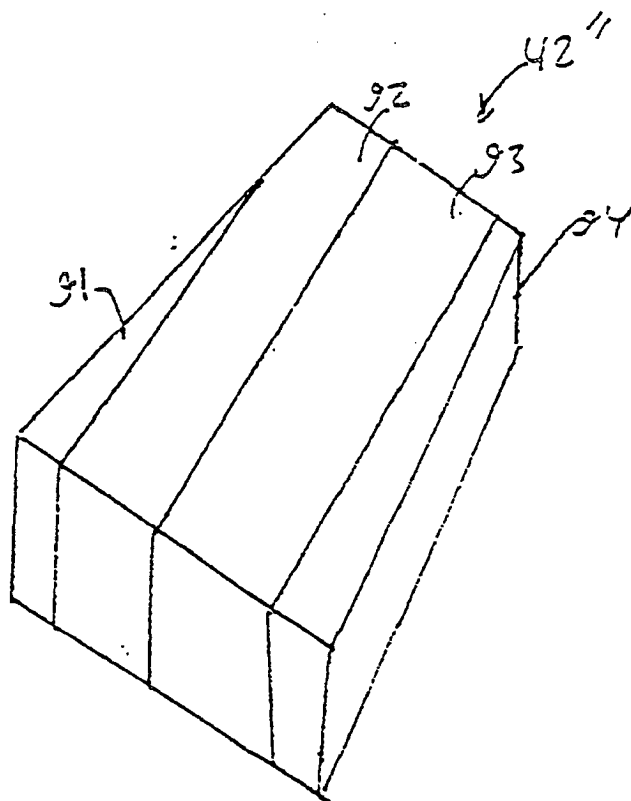


Fig. 8

Fig. 9A

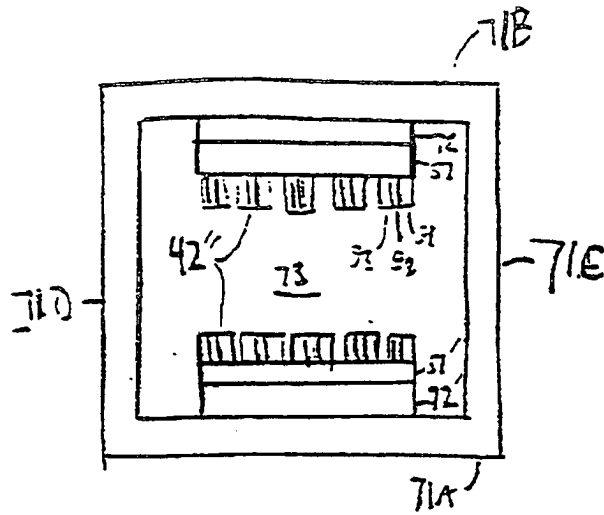


Fig. 9B

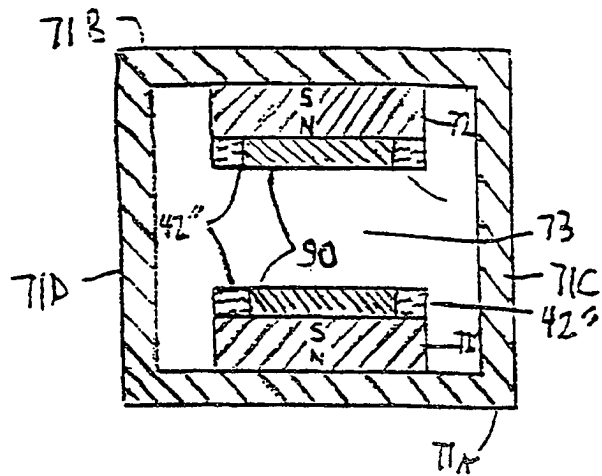


Fig. 10A

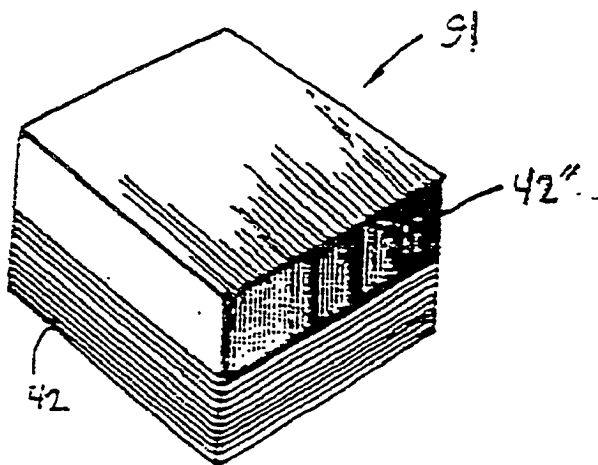


Fig. 10B

