(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 2 039 980 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
07.04.2010 Patentblatt 2010/14

(51) Int Cl.:
F17C 3/08 *(2006.01)* ***F17C 13/00*** *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **07018697.8**

(22) Anmeldetag: **24.09.2007**

(54) **Kryostat mit stabilisiertem Aussengefäss**

Cryostat with stabilised outer vessel

Cryostat doté d'un récipient extérieur stabilisé

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MT NL PL PT RO SE SI SK TR

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
25.03.2009 Patentblatt 2009/13

(73) Patentinhaber: **BMDSys Production GmbH**
39118 Magdeburg (DE)

(72) Erfinder:
- **Nowak, Hannes, Dr.**
  07751 Jena (DE)
- **Erné, Sergio Nicola, Dr.**
  89233 Neu-Ulm (DE)

(74) Vertreter: **Stößel, Matthias**
Herzog Fiesser & Partner
Bad Kreuznacher Straße 27-29
68309 Mannheim (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
DE-A1- 2 336 889
DE-A1- 19 544 593
DE-C1- 10 148 586
US-A- 4 750 631

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents im Europäischen Patentblatt kann jedermann nach Maßgabe der Ausführungsordnung beim Europäischen Patentamt gegen dieses Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist. (Art. 99(1) Europäisches Patentübereinkommen).

EP 2 039 980 B1

Printed by Jouve, 75001 PARIS (FR)

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Kryostaten, welcher insbesondere für den Einsatz in einem biomagnetischen Messsystem geeignet ist, sowie ein biomagnetisches Messsystem, welches einen derartigen Kryostaten umfasst. Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zur Herstellung eines Kryostaten, welcher insbesondere für biomagnetische Messungen geeignet ist. Derartige Kryostaten und Messsysteme können insbesondere im Bereich der Kardiologie oder auch in anderen medizinischen Bereichen, wie beispielsweise der Neurologie, eingesetzt werden. Auch andere Anwendungen, beispielsweise nichtmedizinische Anwendungen, beispielsweise Anwendungen in der Materialforschung, sind denkbar.

Stand der Technik

[0002] In den vergangenen Jahren haben magnetische Messsysteme, welche bis dahin im Wesentlichen der Grundlagenforschung vorbehalten waren, Einzug in viele Bereiche der biologischen und medizinischen Wissenschaften gehalten. Insbesondere die Neurologie und die Kardiologie profitieren von derartigen biomagnetischen Messsystemen.

[0003] Grundlage der biomagnetischen Messsysteme ist die Tatsache, dass die meisten Zellaktivitäten im menschlichen oder tierischen Körper mit elektrischen Signalen, insbesondere elektrischen Strömen, verbunden sind. Die Messung dieser elektrischen Signale selbst, welche durch die Zellaktivität hervorgerufen werden, ist beispielsweise aus dem Bereich der Elektrokardiographie bekannt. Neben den rein elektrischen Signalen sind die elektrischen Ströme jedoch auch mit einem entsprechenden Magnetfeld verbunden, deren Messung sich die verschiedenen bekannten biomagnetischen Messmethoden zunutze machen.

[0004] Während die elektrischen Signale bzw. deren Messung außerhalb des Körpers von verschiedenen Faktoren, wie beispielsweise den unterschiedlichen elektrischen Leitfähigkeiten der Gewebetypen zwischen der Quelle und der Körperoberfläche verbunden sind, durchdringen magnetische Signale nahezu ungestört diese Gewebebereiche. Die Messung dieser Magnetfelder und deren Änderungen erlaubt somit Rückschlüsse auf die innerhalb des Gewebes fließenden Ströme, zum Beispiel elektrische Ströme innerhalb des Herzmuskels. Eine Messung dieser magnetischen Felder mit hoher Zeit- und/oder Ortsauflösung über einen gewissen Bereich hinweg erlaubt somit bildgebende Verfahren, welche beispielsweise eine aktuelle Situation verschiedener Bereiche eines menschlichen Herzens wiedergeben können. Andere bekannte Anwendungen liegen beispielsweise im Bereich der Neurologie.

[0005] Die Messung von Magnetfeldern biologischer Proben oder Patienten, bzw. die Messung von zeitlichen Änderungen dieser Magnetfelder, stellt jedoch messtechnisch eine hohe Herausforderung dar. So sind beispielsweise die Magnetfeldänderungen im menschlichen Körper, welche bei der Magnetokardiographie zu messen sind, ungefähr eine Million Mal schwächer als das magnetische Feld der Erde. Die Detektion dieser Änderungen erfordert also extrem sensitive Magnetsensoren. In den meisten Fällen werden daher im Bereich der biomagnetischen Messungen supraleitende Quanten-Interferenz-Messgeräte (Superconducting Quantum Interference Devices, SQUIDs) eingesetzt. Derartige Sensoren müssen in der Regel, um den supraleitenden Zustand zu erreichen bzw. aufrechtzuerhalten, typischerweise auf 4 °K (-269 °C) gekühlt werden, wozu üblicherweise flüssiges Helium verwendet wird. Die SQUIDs sind daher in der Regel einzeln oder in einem SQUID-Array in einem sog. Dewar-Gefäß angeordnet und werden dort entsprechend gekühlt. Alternativ werden zurzeit Laser-gepumpte magneto-optische Sensoren entwickelt, die annähernd vergleichbare Empfindlichkeit aufweisen können. Auch in diesem Fall werden die Sensoren in der Regel in einer Array-Anordnung in einem Behälter zur Temperaturstabilisierung angeordnet.

[0006] Derartige Behälter zur Temperaturstabilisierung, insbesondere Behälter für die Kühlung von Magnetsensoren und so genannte Dewar-Gefäße werden im Folgenden allgemein als "Kryostat" bezeichnet. Insbesondere kann es sich hierbei um Helium-Kryostate oder andere Arten von Kryostaten handeln. Zwischen dem Kryostaten und dem Kryostatgefäß, welches auch als Dewar bezeichnet wird, wird dabei im Folgenden nicht unterschieden, auch wenn der eigentliche Kryostat neben dem Kryostatgefäß weitere Teile umfassen kann.

[0007] Die Herstellung des Kryostaten für die Aufnahme biomagnetischer Sensorsysteme stellt konstruktiv eine große Herausforderung dar. Die Sensoren werden üblicherweise in einer vorgegebenen Anordnung in diesen Kryostaten eingebracht, beispielsweise in Form einer hexagonalen Anordnung von SQUIDs oder anderen Magnetsensoren. Dabei umfasst üblicherweise der Kryostat ein inneres Gefäß, mit darin aufgenommenen Sensoren, sowie ein äußeres Gefäß. Der Zwischenraum zwischen innerem Gefäß und äußerem Gefäß wird evakuiert. Dabei ist es jedoch von erheblicher Bedeutung, dass der Abstand zwischen den im inneren Kryostatgefäß aufgenommenen Sensoren und der Hautoberfläche des Patienten so klein wie möglich gehalten wird, da beispielsweise die Signalstärke mit einer hohen Potenz des Abstandes zwischen Sensor und Hautoberfläche abnimmt. Dementsprechend muss der Abstand zwischen den Böden des inneren und äußeren Gefäßes klein und äußerst konstant gehalten werden.

[0008] Aus dem Stand der Technik sind zahlreiche Kryostate bekannt, welche für magnetische Messungen eingesetzt

werden können. So beschreibt beispielsweise WO 94/03754 ein Kryostatgefäß mit einem inneren Dewar und einem äußeren Dewar. Der innere Dewar ist dabei doppelt ummantelt und weist Bodenteile mit gekrümmten Böden auf. Weiterhin ist eine Reihe von Strahlungsabschirmungen vorgesehen.

[0009] Auch DE 298 09 387 U1 beschreibt einen Kryostaten für radiomagnetische Sondierungsverfahren, bei denen vorzugsweise SQUIDs eingesetzt werden. Der Kryostat weist eine hohe elektromagnetische Hochfrequenz-Transparenz auf. Dabei wird wiederum ein Doppelgefäß vorgeschlagen, wobei ein Sensor am Boden eines Innengefäßes aufgenommen ist. Dieses Innengefäß ist zweiteilig ausgebildet und zeigt ein Bodenteil mit einem hochgezogenen Rand, welcher eine Seitenwand teilweise umschließt.

[0010] Aus DE 195 44 593 A1 ist ein vakuumisolierter Kryobehälter bekannt, der für die Speicherung tiefsiedender verflüssigter Gase, insbesondere für brennbare Kryokraftstoffe, eingesetzt werden kann. Dieser weist einen Außenbehälter und einen im Außenbehälter gelagerten, die Gase aufnehmenden Innenbehälter und eine Einrichtung zur Sicherung des Außenbehälters gegen Druckanstieg in dem zwischen den Behältern vorgesehenen Isolationsraum auf. An dem Innenbehälter ist eine Einrichtung zur Überdrucksicherung angeordnet, welche bei einem vorgegebenen Versagensdruck eine Öffnung zwischen dem Innenbehälter und dem Isolationsraum freigibt.

[0011] Die herkömmlichen, für magnetische Messungen verwendeten Kryostaten weisen jedoch in der Praxis eine Vielzahl von Nachteilen und Schwierigkeiten auf, welche sich auf die Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit der Messungen auswirken können. Eine Schwierigkeit besteht beispielsweise darin, dass insbesondere in Übergangsbereichen zwischen Bodenteilen und der Seitenwänden des Kryostatgefäße leicht Verspannungen auftreten können, welche bis hin zu Rissen führen können, was wiederum die Qualität des Kryostaten stark negativ beeinflussen kann.

[0012] Weiterhin können beispielsweise beim Abpumpen des Zwischenraumes zwischen innerem und äußerem Gefäß Verformungen auftreten, welche bis hin zur Ausbildung von Wärmebrücken zwischen den Böden der Gefäße führen können. Somit besteht bei der Konstruktion des Kryostaten ein Zielkonflikt dahingehend, dass einerseits ein Abstand zwischen den beiden Böden möglichst groß ausgestaltet werden sollte, um derartige verformungsbeding-te Wärmebrücken zu vermeiden, dass aber andererseits dieser Abstand möglichst klein gehalten werden sollte, um eine hohe Signalqualität für die Sensorsignale zu erzielen.

[0013] Dieser Zielkonflikt wird insbesondere dadurch verschärft, dass bei biomagnetischen Messsystemen die Dimensionen der Kryostate üblicherweise die Dimensionen von aus dem Laborbereich bekannten Kryostaten stark überschreiten. Dies ist insbesondere dadurch bedingt, dass die meisten modernen biomagnetischen Messsysteme abbildende Systeme sind, welche nicht nur punktuell Messwerte aufnehmen, sondern möglichst gleichzeitig über einen größeren Flächenbereich oder Raumbereich hinweg messen. So wird beispielsweise bei der Magnetokardiographie üblicherweise mittels eines Sensorarrays über einen näherungsweise kreisförmigen Bereich von beispielsweise 300 mm bis 400 mm Durchmesser gemessen, was näherungsweise den Dimensionen einer menschlichen Brust entspricht. Diese großen Dimensionen bewirken jedoch, dass sich bereits kleinste Durchbiegungen der Gefäße, beispielsweise Durchbiegungen im Prozentbereich (d.h. Krümmung relativ zu lateraler Ausdehnung), insbesondere im Mittenbereich der Kryostatgefäße die beschriebenen Probleme mit der Ausbildung von Wärmebrücken bewirken können.

Aufgabe der Erfindung

[0014] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht somit darin, einen Kryostaten bereitzustellen, welcher die oben beschriebenen Nachteile bekannter Kryostate vermeidet. Insbesondere soll der Kryostat einerseits eine hohe Signalqualität gewährleisten und andererseits eine zuverlässige Evakuierung eines Hohlraumes zwischen einem Innengefäß und einem Außengefäß ermöglichen.

Beschreibung der Erfindung

[0015] Diese Aufgabe wird gelöst durch einen Kryostaten und ein Verfahren zur Herstellung eines Kryostaten mit den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche. Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung, welche einzeln oder in Kombination verwirklicht werden können, sind in Unteransprüchen dargestellt. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird hiermit durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

[0016] Es wird ein Kryostat für den Einsatz in einem biomagnetischen Messsystem vorgeschlagen, welcher mindestens ein Innengefäß und mindestens ein Außengefäß aufweist, sowie mindestens einen zwischen dem Innengefäß und dem Außengefäß angeordneten Hohlraum. Sinngemäß können auch mehrere derartige Innen- und/oder Außengefäße und/oder mehrere Hohlräume vorgesehen sein. Der Hohlraum soll mit einem Unterdruck beaufschlagbar sein, soll also abgedichtet werden können, um evakuiert werden zu können. Zu diesem Zweck können Innen- und Außengefäß beispielsweise entsprechende Dichtungen (beispielsweise separate Dichtringe und/oder Dichtklebungen an Verbindungsstellen oder ähnliche Arten von Dichtungen), einen Pumpenanschluss zum Verbinden mit einer Vorrichtung zur Erzeugung eines Vakuums (z.B. einer Vakuumpumpe) oder ähnliches aufweisen.

[0017] Das Außengefäß und das Innengefäß können dabei aus einer Vielzahl möglicher Materialien gefertigt sein,

welche die erforderliche mechanische Stabilität dieser Gefäße gewährleisten. Besonders bevorzugt ist es, wenn diese Gefäße ganz oder teilweise aus einem Faserverbundmaterial, also einem Verbund aus einem Faserwerkstoff und einem Matrixmaterial aus einem Kunststoff hergestellt sind. Alternativ oder zusätzlich ist jedoch auch eine Vielzahl weiterer Werkstoffe einsetzbar, wie beispielsweise Metalle, Kunststoffe, Keramiken oder eine Kombination dieser Materialien.

[0018] Das Außengefäß weist ein Bodenteil auf. Dieses Bodenteil kann einstückig mit den restlichen Bauteilen des Außengefäßes aufgebaut sein, kann jedoch auch in einer modularen Bauweise durch weitere Bauteile des Außengefäßes ergänzt werden, beispielsweise - wie unten beschrieben - eine Seitenwand und/oder weitere Teile, wie beispielsweise Deckelteile. Wie oben beschrieben, ist dieses Bodenteil besonders kritisch und sollte nach Möglichkeit keine nennenswerte Durchbiegung aufweisen, wenn der Hohlraum abgepumpt wird. Übliche Drücke nach dem Abpumpen können bei Raumtemperatur beispielsweise im Bereich von 10^{-3} mbar bis 10^{-4} mbar liegen.

[0019] Zu diesem Zweck wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, das Bodenteil des Außengefäßes analog zu einer Brückenkonstruktion zu gestalten. Bei einer derartigen Brückenkonstruktion wird einer Belastung dadurch begegnet, dass die Brücke eine entsprechende bogenförmige Krümmung aufweist. Auf ähnliche Weise wird vorgeschlagen, dass das Bodenteil einen Dickenvariationsbereich aufweist, welcher sich vorzugsweise über einen großen Bereich des Bodenteils erstreckt. Beispielsweise kann sich dieser Dickenvariationsbereich über einen Bereich zwischen 50 und 100 % der lateralen Erstreckung des Bodenteils erstrecken. In diesem Dickenvariationsbereich weist das Bodenteil eine konzentrisch variierende Bodendicke auf, wobei die Bodendicke sich zur Mitte des Dickenvariationsbereichs hin verringert und dort einen geringeren Wert annimmt als in einem Außenbereich des Dickenvariationsbereichs. Dabei ist unter einer "Dicke" jedoch stets ein gemittelter Wert über einen kleinen Bereich hinweg zu verstehen, so dass beispielsweise lokale Unebenheiten in der Dicke (zum Beispiel ein Angusspunkt) außer Betracht bleiben können.

[0020] Die Dickenvariationsbereich über die laterale Erstreckung des Bodenteils bzw. des Dickenvariationsbereichs hinweg kann beispielsweise zwischen 0,1 % und 5 % liegen, vorzugsweise zwischen 0,5 % und 2 % und besonders bevorzugt im Bereich von 0,75 % bis 1 %. Die Dickenvariation kann beispielsweise stetig erfolgen, beispielsweise in Form eines parabelförmigen Oberflächenprofils und/oder Dickenprofils der Bodendicke. Alternativ oder zusätzlich kann jedoch auch eine stetige oder stufenweise Variation der Bodendicke erfolgen.

[0021] Das Bodenteil hat beispielsweise einen runden oder einen polygonalen Querschnitt. Entsprechend ist auch der Begriff "konzentrisch variierend" zu verstehen, dahingehend, dass dieser Begriff lediglich eine Abnahme der Bodendicke hin zur Mitte des Dickenvariationsbereichs umfasst, nicht hingegen notwendigerweise eine runde Form der Dickenvariationsbereichs und/oder eine Achsensymmetrie der Dickenvariation, auch wenn eine runde Form und eine Axialsymmetrie um eine Achse des Kryostaten eine bevorzugte Ausführungsform darstellen.

[0022] Die konzentrisch variierende Bodendicke bietet den Vorteil, dass der Gesamtaufbau des Bodenteils erheblich stabilisiert wird, ähnlich zum Aufbau eines Brückenbogens. Auf diese Weise werden Wärmebrücken zwischen dem Außengefäß und dem Innengefäß vermieden, und auch nach mehreren Abpumpvorgängen lässt sich der Kryostat und ein den Kryostaten umfassendes biomagnetisches Messsystem reproduzierbar und zuverlässig in Betriebsbereitschaft versetzen.

[0023] Der Abstand zwischen dem Bodenteil des Außengefäßes und einem Innenbodenteil des Innengefäßes kann beispielsweise zwischen 3 mm und 30 mm betragen, insbesondere zwischen 10 mm und 25 mm und besonders bevorzugt ca. 20 mm. Das Bodenteil selbst oder der Dickenvariationsbereich kann einen Durchmesser von beispielsweise mindestens 200 mm aufweisen, vorzugsweise einen Durchmesser von ca. 400 mm. Das Bodenteil kann eine nach außen weisende Außenseite und eine nach innen weisende Innenseite aufweisen, wobei die Außenseite bei Normaldruck in dem Hohlraum (d.h. bei nicht evakuiertem Hohlraum) vorzugsweise einen im Wesentlichen ebenen Verlauf aufweist. Die Innenseite hingegen kann bei Normaldruck in dem Hohlraum eine gekrümmte Oberfläche aufweisen. Diese Weiterentwicklung bietet den Vorteil, dass auf diese Weise erreicht werden kann, dass im abgepumpten Zustand durch eine entsprechende Wahl der Krümmung der gekrümmten Oberfläche eine ebene Oberfläche entsteht, welche dem Innengefäß zuweist. Auf diese Weise kann vorzugsweise überall im Hohlraum zwischen dem Bodenteil des Außengefäßes und dem Innenbodenteil ein näherungsweise konstanter Abstand im abgepumpten Zustand eingestellt werden.

[0024] Das Bodenteil kann insbesondere einen Faserwerkstoff, beispielsweise einen Glasfaserwerkstoff und/oder einen Kohlefaserwerkstoff und/oder einen Mineralfaserwerkstoff aufweisen. Durch diese Faserverstärkung wird die Stabilität des Kryostaten, insbesondere im Bereich des Bodenteils, zusätzlich erhöht. Zusätzlich zu dem Faserwerkstoff kann dann ein aushärtbares Matrixmaterial verwendet werden, beispielsweise - wie oben beschrieben - ein Matrixmaterial mit einem Epoxidharz oder ein ähnliches aushärtbares Matrixmaterial, welches gemeinsam mit dem Faserwerkstoff ein Faserverbundmaterial bilden kann.

[0025] Das Außengefäß kann weiterhin eine in einem umlaufenden Verbindungsbereich mit dem Bodenteil verbundene Seitenwand aufweisen. Wie oben beschrieben, kann diese Seitenwand beispielsweise einen runden oder polygonalen Querschnitt aufweisen, wobei jedoch grundsätzlich beliebige Querschnitte realisierbar sind. Das Bodenteil kann vorzugsweise einen hochgezogenen Rand aufweisen, entlang dessen das Bodenteil mit der Seitenwand des Außengefäßes verbunden ist. In diesem Fall ist es besonders bevorzugt, wenn der hochgezogene Rand eine Stufenfläche aufweist, wobei die Seitenwand auf dieser Stufenfläche aufsitzt. Die Stufenfläche kann zusätzlich einen Kragen umfassen, welcher

konzentrisch zu der Seitenwand angeordnet ist, so dass sich die Seitenwand nach innen hin auf diesem Kragen der Stufenfläche abstützen kann. Beispiele dieser Konstruktion werden im Nachfolgenden weiter erläutert.

[0026] Neben dem Kryostaten wird ein biomagnetisches Messsystem, insbesondere ein biomagnetisches Messsystem gemäß einer oder mehrerer der eingangs beschriebenen, aus dem Stand der Technik bekannten Ausführungsbeispiele, vorgeschlagen. Das biomagnetische Messsystem umfasst mindestens einen Kryostaten nach einem der vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispiele. Weiterhin umfasst das biomagnetische Messsystem mindestens einen biomagnetischen Sensor, vorzugsweise ein Array biomagnetischer Sensoren, welche zur Detektion eines magnetischen Feldes eingerichtet sind. Wie oben beschrieben, können diese biomagnetischen Sensoren beispielsweise SQUIDs und/oder magneto-optische Sensoren umfassen.

[0027] Neben dem Kryostaten und dem biomagnetischen Messsystem wird weiterhin ein Verfahren zur Herstellung eines Kryostaten für den Einsatz in einem biomagnetischen Messsystem vorgeschlagen, insbesondere eines Kryostaten gemäß einem der vorangehend beschriebenen Ausführungsbeispiele. Der Kryostat soll mindestens ein Innengefäß und mindestens ein Außengefäß sowie mindestens einen zwischen dem Innengefäß und dem Außengefäß angeordneten Hohlraum umfassen, welcher mit einem Unterdruck beaufschlagbar ist. Das Außengefäß weist ein Bodenteil auf, welcher einen Dickenvariationsbereich mit einer konzentrisch variierenden Bodendicke umfasst. Die Bodendicke nimmt im Bereich der Mitte des Dickenvariationsbereichs einen geringeren Wert an als in einem Außenbereich. Für weitere mögliche Details der Ausgestaltung des Kryostaten kann beispielsweise auf die obige Beschreibung verwiesen werden.

[0028] Das Verfahren umfasst die folgenden Schritte zur Herstellung des Bodenteils:

- mindestens ein aushärtbarer Werkstoff (beispielsweise das oben beschriebene Matrixmaterial des Faserverbundwerkstoffes) wird in eine Form eingebracht. Zusätzlich können weitere Werkstoffe in diese Form eingebracht werden, oder der aushärtbare Werkstoff kann weitere Werkstoffe umfassen, beispielsweise die oben beschriebenen Faserwerkstoffe. Die Form weist mindestens ein Formnest, d.h. eine entsprechend gestaltete Öffnung auf, wobei dieses Formnest vorzugsweise vollständig ein Negativ des herzustellenden Bodenteils bildet. Weiterhin umfasst die Form mindestens ein erstes Stempelteil, welches eine in das Formnest hinein gekrümmte Oberfläche aufweist.
- Nach dem Einbringen des aushärtbaren Werkstoffes in das Formnest der Form wird der aushärtbare Werkstoff ausgehärtet, beispielsweise durch einfaches Abwarten, durch thermisches Aushärten, durch chemisches Aushärten (zum Beispiel durch Zugabe eines Starters), durch photochemisches Aushärten oder durch andere Aushärtverfahren oder Kombinationen der genannten und/oder anderer Aushärtverfahren. Nach dem Aushärten kann das Bodenteil anschließend der Form entnommen werden. Auf diese Weise wird unter Verwendung des besagten ersten Stempels, welcher beispielsweise eine konvexe parabolisch gekrümmte Oberfläche aufweisen kann, die konzentrisch variierende Bodendicke des Dickenvariationsbereichs des Bodenteils erzeugt.

[0029] Das erfindungsgemäße Verfahren kann ebenfalls auf verschiedene Weisen weitergebildet werden. So kann beispielsweise die Form weiterhin mindestens ein zweites Stempelteil aufweisen, wobei das zweite Stempelteil eine gegenüber dem ersten Stempelteil im Wesentlichen entgegengesetzte Krümmung aufweist. Ragt beispielsweise die gekrümmte Oberfläche des ersten Stempelteils in das Formnest konvex hinein, so kann beispielsweise das zweite Stempelteil eine gekrümmte Oberfläche aufweisen, welche derart konkav gekrümmt ist, dass die Krümmung aus dem Inneren des Formnestes herausweist. Die beiden gekrümmten Oberflächen der Stempelteile können in diesem Fall beispielsweise dann derart gekrümmt sein, dass das gebildete Zwischenprodukt des Bodenteils nach dem Aushärten die Form einer gekrümmten Schale annimmt. Anschließend kann, nach einem Aushärten des aushärtbaren Werkstoffs, das Bodenteil dem Formnest entnommen werden und einem sich anschließenden Schneideverfahren und/oder Schleifverfahren unterworfen werden. Mittels dieses Schneideverfahrens und/oder Schleifverfahrens kann dann die konvexe Oberfläche des Bodenteils beispielsweise im Bereich des Dickenvariationsbereichs eingeebnet werden und somit eine im Wesentlichen ebene Unterseite des Bodenteils bzw. des Dickenvariationsbereichs erzeugt werden.

Ausführungsbeispiele

[0030] Weitere Einzelheiten und Merkmale der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von bevorzugten Ausführungsbeispielen in Verbindung mit den Unteransprüchen. Hierbei können die jeweiligen Merkmale für sich alleine oder zu mehreren in Kombination miteinander verwirklicht sein. Die Erfindung ist nicht auf die Ausführungsbeispiele beschränkt. Die Ausführungsbeispiele sind in den Figuren schematisch dargestellt. Gleiche Bezugsziffern in den einzelnen Figuren bezeichnen dabei gleiche oder funktionsgleiche bzw. hinsichtlich ihrer Funktionen einander entsprechende Elemente.

Im Einzelnen zeigt:

[0031]

Figur 1	ein Ausführungsbeispiel eines Kryostaten für den Einsatz in einem biomagnetischen Messsystem in einer Schnittdarstellung;
Figur 2	einen Ausschnitt der Darstellung gemäß Figur 1 im Bereich eines Überganges zwischen einem Innenbodenteil und einer Innenseitenwand eines Innengefäßes;
Figur 3	einen Ausschnitt der Darstellung gemäß Figur 1 im Bereich eines Überganges zwischen einem Bodenteil und einer Seitenwand eines Außengefäßes;
Figur 4	das Bodenteil des Kryostaten gemäß Figur 1 in einer Detaildarstellung;
Figuren 5A und 5B	ein schematisches Beispiel eines herkömmlichen Bodenteils in ungekrümmtem und gekrümmtem Zustand;
Figuren 6A und 6B	ein schematisches Beispiel eines erfindungsgemäßen Bodenteils in ungekrümmtem und gekrümmtem Zustand;
Figuren 7A und 7B	zwei weitere mögliche Ausführungsbeispiele erfindungsgemäßer Bodenteile;
Figur 8	ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Kryostaten; und
Figur 9	ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Herstellung eines Kryostaten.

[0032] In Figur 1 ist ein mögliches Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Kryostaten 110 in einer Schnittdarstellung gezeigt. Der Kryostat 110 weist ein Innengefäß 112 und ein das Innengefäß 112 umschließendes Außengefäß 114 auf. Das Außengefäß 114 ist im Wesentlichen zylindrisch ausgestaltet und weist verschiedene Flansche 116 und 118 auf. Während der untere dieser Flansche 116 im Wesentlichen Halterungsfunktionen übernimmt, dient der obere Flansch 118 zur Aufnahme eines Deckels 120 des Außengefäßes 114. Durch diesen Deckel 120 ragt ein Hals 122 des Innengefäßes 112. Durch diesen Hals 122 können biomagnetische Sensoren (in Figur 1 nicht dargestellt) ins Innere eines (ebenfalls im Wesentlichen zylindrischen) Hauptgefäßes 124 des Innengefäßes 112 eingebracht werden. Zudem können Zuleitungen zu diesen Sensoren durch den Hals 122 nach außen geführt und mit einer entsprechenden Elektronik verbunden werden, sodass Messsignale dieser Sensoren abgefragt werden können.

[0033] Zwischen dem Innengefäß 112 und dem Außengefäß 114 ist ein Hohlraum 126 ausgebildet. Dieser Hohlraum 126 kann beispielsweise mittels eines in Figur 1 nicht dargestellten Vakuumstutzens evakuiert werden. Durch diese Evakuierung und Ausbildung eines Unterdrucks in diesem Hohlraum 126 wird eine Isolationswirkung des Kryostaten 110 erhöht. Auf diese Weise kann der Innenraum des Hauptgefäßes 124 des Innengefäßes 112 beispielsweise mittels flüssigen Heliums gekühlt werden, ohne dass in kurzen Abständen eine Ergänzung bzw. Ersetzung dieses flüssigen Heliums erforderlich wäre.

[0034] Sowohl das Innengefäß 112 als auch das Außengefäß 114 weisen im Wesentlichen durchgehend Faserverbundmaterialien als Werkstoffe auf. Weiterhin sind sowohl das Innengefäß 112 als auch das Außengefäß 114 modular aufgebaut. So weist beispielsweise das Außengefäß 114 neben dem Deckel 120 eine Seitenwand 128 und ein Bodenteil 130 auf. Das Innengefäß 112 weist neben dem Hals 122 im Bereich des Hauptgefäßes 124 einen Kreisring 132 auf, welcher den Hals 122 gegenüber dem Hauptgefäß 124 abdichtet. Weiterhin weist das Innengefäß 112 eine Innenseitenwand 134 auf sowie ein Innenbodenteil 136. In diesem Ausführungsbeispiel sind die Seitenwände 128, 134 mit einer zylindrischen Gestalt ausgestattet, was jedoch nicht zwingend erforderlich ist. So können beispielsweise auch polygonale Querschnitte oder unregelmäßige Querschnitte eingesetzt werden.

[0035] Ein besonders kritischer Bereich bei der Herstellung des Kryostaten 110 ist der in Figur 1 mit der Bezugsziffer 138 bezeichnete Bereich des Übergangs zwischen den Bodenteilen 130, 136 und den Seitenwänden 128, 134 des Außengefäßes 114 bzw. des Innengefäßes 112. In diesem Bereich machen sich die beim Abpumpen des Hohlraumes 126 wirkenden Kräfte auf das Innengefäß 112 (in Figur 1 mit F_1 bezeichnet) und auf das Außengefäß 114 (in Figur 1 mit F_2 bezeichnet) besonders kritisch bemerkbar und können zu Beschädigungen des Kryostaten 110 führen.

[0036] Beim Evakuieren des Hohlraums 126 in Figur 1 wirkt auf die Seitenwand 134 des Innengefäßes 112 die nach außen, zum Hohlraum 126 hin gerichtete Kraft F_1. Diese Kraft führt in einem umlaufenden Verbindungsbereich 140, welcher in Figur 2 in Detaildarstellung gezeigt ist, zwischen dem Innenbodenteil 136 und der Innenseitenwand 134 des Innengefäßes 112 zu Verspannungen. Um in diesem Verbindungsbereich 140 Rissbildungen aufgrund dieser Verspannungen zu vermeiden, weist der Verbindungsbereich 140 ein umlaufendes Verstärkungselement 142 auf, welches in

diesem Ausführungsbeispiel einstückig mit dem Innenbodenteil 136 ausgebildet ist. Auch nicht-einstückige Ausführungsformen sind jedoch denkbar, beispielsweise mit einem separat ausgebildeten Verstärkungselement 142. Das Innenbodenteil 136 weist einen hochgezogenen, kreisringförmigen Rand 144 auf, welcher in seinem oberen Bereich als Stufe 146 ausgebildet ist. Diese Stufe 146 weist eine untere Stufenfläche 148 auf, auf welcher der untere Rand der Innenseitenwand 134 des Innengefäßes 112 aufliegt. Weiterhin beinhaltet die Stufe 146 einen Kragen 150, welcher den unteren Rand der Seitenwand 134 ringförmig umgibt.

[0037] Das Verstärkungselement 142 unterscheidet sich vom restlichen Innenbodenteil 136 im Wesentlichen durch seine strukturellen Eigenschaften. So ist vorzugsweise das gesamte Innenbodenteil 136 aus einem Faserverbundmaterial hergestellt, welches vorzugsweise ein Epoxidharz als Matrixmaterial und beispielsweise Glasfasern als Faserwerkstoff umfasst. Daneben können weitere Zusatzstoffe umfasst sein. Im Bereich des Verstärkungselements 142 ist dieser Faserwerkstoff, welcher in Figur 2 nicht dargestellt ist, in Umfangsrichtung orientiert und weist somit in Figur 2 in die Zeichenebene hinein. Im restlichen Bodenteil 136 hingegen ist die Faserorientierung des Faserwerkstoffs im Wesentlichen radial verlaufend, also in Figur 2 parallel zur Zeichenebene.

[0038] Weiterhin ist in den Figuren 1 und 2 zu erkennen, dass das Innenbodenteil 136 eine Reihe von Vertiefungen 152 aufweist. Diese Vertiefungen 152 dienen der Aufnahme von biomagnetischen Sensoren, welche in den Figuren nicht dargestellt sind. Beispielsweise lassen sich zu diesem Zweck SQUIDs einsetzen, welche beispielsweise an einem durch den Hals 122 des Innengefäßes 112 in das Hauptgefäß 124 eingebrachten Gestänge gelagert sind. Die biomagnetischen Sensoren können beispielsweise in einer hexagonalen Anordnung im Bodenteil 136 aufgenommen sein, so dass diese über einen Flächenbereich hinweg Messsignale aufnehmen und somit beispielsweise einen Brustbereich eines Patienten kartieren können. Die Vertiefungen 152 dienen beispielsweise dem Zweck, die biomagnetischen Sensoren zu fixieren und darüber hinaus den Abstand zwischen Sensor und Hautoberfläche des Patienten dadurch zu verkürzen, dass die effektive Bodendicke des Innenbodenteil 136 von ursprünglich D auf den Abstand d in Figur 2 reduziert wird. Weiterhin sind im Innenbodenteil 136 Gewindebohrungen 154, an welchen beispielsweise ein Gestänge zur Halterung der biomagnetischen Sensoren fixiert werden kann.

[0039] Auf ähnliche Weise weist auch das Bodenteil 130 des Außengefäßes 114 einen hochgezogenen Rand 156 auf. Dieser ist in Figur 3 in Detaildarstellung gezeigt. Da in diesem Fall die auf die Seitenwand 128 des Außengefäßes 114 wirkende Kraft F_2 nach innen gerichtet ist, also entgegengesetzt zur Kraft F_1 in Figur 2, ist zur Verstärkung des Übergangsbereichs zwischen der Seitenwand 128 und dem Bodenteil 130 wiederum eine Stufe 158 in dem hochgezogenen Rand 156 des Bodenteils 130 vorgesehen. Wiederum weist diese Stufe 158 eine Stufenfläche 160 auf, auf welcher die Seitenwand 128 aufliegt. Wiederum ist auch ein Kragen 162 vorgesehen, welcher jedoch, im Gegensatz zu dem Kragen 150 in Figur 2, aufgrund der entgegengesetzt zur Kraft F_1 wirkenden Kraft F_2 in diesem Fall auf der Innenseite der Seitenwand 128 angeordnet ist und den Übergangsbereich zwischen Seitenwand 128 und Bodenteil 130 verstärkt.

[0040] Zwischen dem Innenbodenteil 136 des Innengefäßes 112 und dem Bodenteil 130 des Außengefäßes 114 besteht, wie aus Figur 1 ersichtlich ist, in einem Bereich, in welchem beide Bodenteile 130, 136 eben verlaufen, ein Abstand a, welcher typischerweise lediglich zwischen 10 und 25 mm beträgt. Dieser bevorzugte Abstand bewirkt eine hohe Signalqualität, da magnetische Felder in der Regel mit einer hohen Potenz des Abstandes zwischen Quelle und Detektor abnehmen. Durch die in Figur 1 dargestellte Konstruktion mit den Vertiefungen 152, in welchen die Sensoren aufgenommen sind, und dem geringen Abstand a zwischen Innenbodenteil 136 und Bodenteil 130 wird der Abstand zwischen beispielsweise einer Brust des Patienten und den in den Vertiefungen 152 aufgenommenen biomagnetischen Sensoren auf ein Minimum reduziert.

[0041] Durch diese Reduzierung des Abstandes a treten jedoch die eingangs genannten Probleme mit Verformungen des Bodenteils 130 des Außengefäßes 114 auf. Das Bodenteil 130 ist in Figur 4 im Detail ohne das Innengefäß 112 dargestellt. Das Bodenteil 130 kann, wie der gesamte Kryostat 110, beispielsweise einen runden Querschnitt oder einen polygonalen Querschnitt aufweisen. Aus Figur 4 ist ersichtlich, dass das Bodenteil 130 in dem hier dargestellten, nicht beschränkenden Ausführungsbeispiel grundsätzlich in drei Abschnitte unterteilt ist und neben dem bereits erwähnten hochgezogenen Rand 156 einen ringförmigen abgeschrägten Bereich 164 und einen kreisförmigen, im Wesentlichen eben gestalteten dicken Variationsbereich 166 aufweist. Der im Wesentlichen ebene Dickenvariationsbereich 166 ist vorzugsweise der Bereich, in welchem, wie aus Figur 1 ersichtlich ist, das Innengefäß 112 den geringsten Abstand zum Außengefäß 114 aufweist. Dieser Bereich stellt somit den Bereich dar, in welchem bei Einwirken der Kraft F_1, welche beim Abpumpen des Hohlraumes 126 auftritt, die Gefahr einer Berührung zwischen Innengefäß 112 und Außengefäß 114 und somit die Ausbildung von Wärmebrücken besonders hoch ist.

[0042] Zur Lösung dieser Problematik wird vorgeschlagen, diesen Dickenvariationsbereich 166 mit einer konzentrisch variierenden Bodendicke auszugestalten. Dabei nimmt die Dicke des Bodenteils 130 im Dickenvariationsbereich 166 von einer Dicke B_1 im Randbereich, d.h. im Bereich des Übergangs des Dickenvariationsbereichs 166 hin zum abgeschrägten Bereich 164, auf einen Wert B_2 in der Mitte des Dickenvariationsbereichs 166 ab. Diese Abnahme beträgt typischerweise ca. 1 %. Wenn der Dickenvariationsbereich 166 somit einen Durchmesser von ca. 400 mm aufweist, so liegt der Wert B_1 - B_2 bei ca. 3 bis 4 mm. Dabei weist der Dickenvariationsbereich 166 eine nach außen weisende Innenseite 168 und eine nach außen weisende Oberfläche 170 auf. Während die Innenoberfläche 168 in einem Zustand,

in welchem der Hohlraum 126 nicht abgepumpt ist, einen leicht gekrümmten Verlauf aufweist, ist die Außenoberfläche 170 vorzugsweise eben ausgestaltet. Alternativ kann diese Außenoberfläche 170 jedoch beispielsweise auch anderen Geometrien angepasst werden, beispielsweise einer Kopfoberfläche oder einer Brustoberfläche eines Patienten, je nach Anwendungsgebiet des Kryostaten 110.

[0043] In den Figuren 5A bis 6B ist die Wirkung der konzentrisch variierenden Dicke des Bodenteils 130 schematisch verdeutlicht. Dabei zeigen die Figuren 5A und 5B ein herkömmliches Bodenteil 130 mit konstanter Dicke, wohingegen die Figuren 6A und 6B ein erfindungsgemäßes Bodenteil 130 mit konzentrisch variierender Dicke zeigen. Die Dickenvariation und die Krümmung sind dabei in den Figuren stark übertrieben dargestellt.

[0044] In Figur 5A ist ein Bodenteil 130 mit gleichbleibender, d.h. nicht variierender Dicke dargestellt, wie es dem Stand der Technik entspricht und in herkömmlichen Kryostaten verwendet wird. Dabei zeigt Figur 5A den unbelasteten Fall, also einen Fall, in welchem der Hohlraum 126 keine Druckdifferenz zum Bereich außerhalb des Kryostaten 110 aufweist, also einen nicht-abgepumpten Fall. Figur 5B zeigt hingegen den Fall, dass der Hohlraum 126 des Kryostaten 110 evakuiert wird. In diesem Fall wirkt nach innen, d.h. hin zum Hohlraum 126, eine Kraft F_2 auf das Bodenteil 130. Da das Bodenteil 130 in seinem Randbereich (der hochgezogene Rand 156 und der abgeschrägte Bereich 164 sind in dieser und in den nachfolgenden Figuren vernachlässigt) fest verankert ist, krümmt sich das Bodenteil 130 in der Mitte nach oben. Die dadurch entstehende Durchbiegung ist in Figur 5B mit Δ bezeichnet. Diese Durchbiegung Δ kann bei üblichen Unterdrücken im Bereich von 10^{-2} bis 10^{-3} mbar bis hin zu einigen Millimetern betragen. Hierdurch können sich Wärmebrücken zum darüberliegenden, in den Figuren nicht dargestellten Innengefäß 112 ausbilden, welche die Isolationswirkung des Kryostaten 110 stark vermindern.

[0045] In den Figuren 6A und 6B ist hingegen ein Beispiel eines Bodenteils 130 gezeigt, welches erfindungsgemäß ausgestaltet ist. Wiederum sind dabei der hochgezogene Rand 156 und der abgeschrägte Bereich 164 nicht dargestellt, und die Krümmungen sind zur Verdeutlichung des Prinzips stark übertrieben gezeichnet. Abgebildet ist somit beispielsweise ein Teil des Dickenvariationsbereichs 166. Wiederum zeigt die Figur 6A den nicht-abgepumpten Fall, in welchem beispielsweise in dem Hohlraum 126 Normaldruck herrscht, wohingegen Figur 6B den Fall des abgepumpten Zustandes darstellt. In diesem abgepumpten Zustand wirkt auf das Bodenteil 130 eine hin zum Hohlraum 126 gerichtete Kraft F_2.

[0046] Wie aus Figur 6B erkennbar ist, bewirkt auch in diesem Fall, in welchem das Bodenteil 130 erfindungsgemäß ausgestaltet ist, die Kraft F_2 eine Verformung des Bodenteils 130. Diese Verformung fällt jedoch zum einen geringfügiger aus als in dem oben in Figur 5B dargestellten, dem Stand der Technik entsprechenden Fall, was auf den "Brückenbogeneffekt" zurückzuführen ist, der oben beschrieben wurde. Zum anderen bewirkt die konkave Krümmung der nach innen weisenden Oberfläche 168 des Bodenteils 130, dass sich auch im verformten Zustand das Bodenteil 130 nicht nach oben hin, d.h. hin zum Innengefäß 112, aufwölben kann oder dass eine derartige Aufwölbung im Vergleich zum Stand der Technik stark vermindert wird. Auf diese Weise wird die Gefahr einer Brückenbildung in diesem besonders kritischen Bereich des Kryostaten 110 stark vermindert.

[0047] In den Figuren 7A und 7B sind weitere mögliche Ausführungsbeispiele des Bodenteils 130 dargestellt (wobei jeweils wiederum nur der Dickenvariationsbereich 166 des Bodenteils 130 gezeigt ist), welche zeigen, dass auch andere Ausführungsformen der Krümmung der Oberflächen im Dickenvariationsbereich 166 als die in Figur 6A gezeigte Krümmung möglich sind.

[0048] So ist in Figur 6A lediglich die nach innen weisende Oberfläche 168 gekrümmt, wohingegen die nach außen weisende Oberfläche 170 vorzugsweise im nicht-abgepumpten Zustand eben ausgestaltet ist. Wie oben bereits dargelegt, sind jedoch auch andere Ausgestaltungen der äußeren Oberfläche 170 möglich, beispielsweise anatomische Ausformungen oder ebenfalls gekrümmte Formen, beispielsweise ähnlich zur inneren Oberfläche 168.

[0049] Weiterhin ist in Figur 6A der Krümmungsverlauf der inneren Oberfläche 168 stetig und beispielsweise parabelförmig ausgestaltet, mit einer konkaven, parabelförmigen Krümmung. Dass dies nicht notwendigerweise so sein muss, ist beispielsweise in Figur 7 stark schematisiert dargestellt. Hierbei ist gezeigt, dass die gekrümmte Oberfläche 168 auch beispielsweise eine nicht-kontinuierliche Dickenvariation mit Stufen 172 aufweisen kann. Da vorzugsweise das Bodenteil 130 rund oder polyedrisch ausgestaltet ist, kann es sich bei diesen Stufen beispielsweise um Ringstufen 172 handeln. Der Effekt dieser gestuften Ausführungsform ist prinzipiell derselbe wie in den Figuren 6A und 6B dargestellt.

[0050] In Figur 7B ist ein weiteres Beispiel einer nicht-kontinuierlichen Dickenvariation gezeigt. Bei diesem Beispiel weist die nach innen weisende Oberfläche 168 einen im Wesentlichen eben ausgestalteten Zentralbereich 174 und einen sich daran anschließenden ringförmigen Krümmungsbereich 176 auf.

[0051] Zahlreiche weitere Ausführungsformen, die nicht vom Grundgedanken der Erfindung abweichen, sind möglich und dem Fachmann angesichts der obigen Beschreibung leicht zu erschließen. So können beispielsweise auch lokal Dickenvariationen auftreten, welche von dem Verlauf mit grundsätzlich nach innen hin abnehmender Dicke des Bodenteils 130 abweichen. So können beispielsweise lokale Unebenheiten, welche vernachlässigbar sind, für eine Ausbildung von Wärmebrücken bei der Betrachtung des Dickenprofils außer Betracht bleiben. Auch zahlreiche andere Ausführungsformen sind denkbar, beispielsweise Ausführungsformen, in welchen in eine oder beide der Oberflächen 168, 170 zusätzliche Vertiefungen, Bohrungen, Nuten oder ähnliches eingebracht sind, wobei der Gesamtverlauf der Krümmung dieser Oberflächen jedoch nicht vom obigen Gedanken der Erfindung abweicht.

[0052] Anhand der Figuren 8 und 9 werden im Nachfolgenden zwei mögliche Verfahren zur Herstellung eines Bodenteils 130, beispielsweise eines Bodenteils mit den Merkmalen der oben beschriebenen Bodenteile 130, beschrieben.

[0053] In beiden Fällen wird ein Herstellungsverfahren eingesetzt, bei welchem das Bodenteil 130 mittels einer Form 178 erzeugt wird. Diese Form 178 weist einen oberen Stempel 180 und einen unteren Stempel 182 auf, welche gemeinsam ein Formnest 184 bilden. Dieses Formnest 184 ist in den Figuren 8 und 9 stark vereinfacht dargestellt, so dass beispielsweise wiederum der abgeschrägte Bereich 164 und/oder ein hochgezogener Rand 156 des Bodenteils 130 außer Betracht bleiben. Unter einem "Stempel" ist nicht notwendigerweise ein beweglicher Bestandteil der Form 178 zu verstehen, sondern es kann sich beispielsweise auch um starre Bestandteile dieser Form 178 handeln, wobei die Stempel 180, 182 zum Formnest 184 hinweisende Oberflächen 186, 188 aufweisen. Die beiden Stempel 180, 182 sind entlang einer Trennlinie 190, welche in den Figuren 8 und 9 ebenfalls nur schematisch dargestellt ist, trennbar. Unter einer "Trennlinie" ist dabei nicht notwendigerweise eine Linie, sondern beispielsweise auch eine Trennfläche oder ähnliches zu verstehen. Auch können die Stempel 180, 182 weitere, beispielsweise bewegliche oder austauschbare Formteile enthalten, um dem Bodenteil 130 weitere Konturen aufzuprägen.

[0054] In beiden Verfahren, also sowohl in dem in Figur 8 dargestellten Verfahren, als auch in dem in Figur 9 dargestellten Verfahren, wird ein Faserwerkstoff 192 in das Formnest 184 eingebracht. Dieser Faserwerkstoff 192 kann beispielsweise in Form von Fasermatten ausgestaltet sein, beispielsweise in Form von Glasfaser-, Kohlefaser- oder Mineralfasermatten oder Mischungen verschiedener Faserwerkstoffe. Der Faserwerkstoff 192 ist in den Figuren 8 und 9 lediglich schematisch angedeutet und wird vorzugsweise derart in die Formnester 184 eingebracht, so dass diese im Wesentlichen ausgefüllt sind. Anschließend wird ein nicht ausgehärtetes Matrixmaterial 194 (in den Figuren 8 und 9 durch eine Punktierung angedeutet) in die Formnester 184 eingebracht, was in den Figuren 8 und 9 ebenfalls nur ansatzweise dargestellt ist. Vorzugsweise wird dieses Matrixmaterial 194 derart in die Formnester 184 eingegossen, dass der Faserwerkstoff 192 vollständig mit dem nicht ausgehärteten Matrixmaterial 194 getränkt ist. Beispielsweise kann es sich bei diesem Matrixmaterial 194 um ein Epoxidharz handeln. Auch andere Arten von Matrixmaterialien 194 sind jedoch denkbar, beispielsweise andere Arten duroplastischer Kunststoffe, Thermoplaste oder andere aushärtbare Matrixmaterialien 194.

[0055] Anschließend wird in beiden Figuren das Matrixmaterial 194 ausgehärtet, was beispielsweise durch einfaches Abwarte, thermische Initialisierung, Beigabe eines Starters, photochemische Aktivierung oder andere Arten der Aktivierung erfolgen kann. Auf diese Weise bildet sich in den Formnestern 184 jeweils ein zumindest teilweise ausgehärtetes Bodenteil 130 aus.

[0056] Die beiden in den Figuren 8 und 9 dargestellten Verfahren unterscheiden sich im Wesentlichen darin, wie bei diesen Verfahren die konzentrisch variierende Bodendicke des Bodenteils 130 erzeugt wird. Bei dem in Figur 8 dargestellten Verfahren ist bereits das Formnest 184 durch entsprechende Ausgestaltung der Stempel 180, 182 derart ausgestaltet, dass das dem Formnest 184 entnommene Bodenteil 130 bereits näherungsweise beispielsweise die Gestalt des in Figur 6A dargestellten Bodenteils 130 aufweist. Dies bedeutet, dass bereits nach dem Vergießen und Aushärten die nach innen weisende Innenseite 168 des Bodenteils 130 (siehe Figur 6A) eine Krümmung aufweist, wohingegen die nach außen weisende Außenseite 170 beispielsweise einen im Wesentlichen ebenen Verlauf zeigt.

[0057] Bei dem in Figur 9 dargestellten, bevorzugten Verfahren wird hingegen die konzentrisch variierende Bodendicke nachträglich durch ein Schneideverfahren erzeugt. Hierbei weisen die beiden Oberflächen 186, 188 der Stempel 180, 182 eine im Wesentlichen konstante Krümmung auf, so dass das nach dem Aushärten dem Formnest 184 entnommene Bodenteil 130 zunächst eine im Wesentlichen konstante Bodendicke aufweist, jedoch insgesamt gekrümmt ist. Auch unterschiedliche Krümmungen der Oberflächen 186, 188 sind prinzipiell möglich. Die konzentrisch variierende Bodendicke wird anschließend durch ein Schneiden dieses Bodenteils entlang einer Schnittlinie 196 (wobei es sich sinngemäß wiederum auch um eine Schnittfläche handeln kann) erzeugt. Dies kann beispielsweise durch ein einfaches Sägen erfolgen. Alternativ oder zusätzlich kann anstelle eines Schneideverfahrens auch ein Schleifverfahren eingesetzt werden, bei welchem das Bodenteil 130 in Figur 9 von unten her mittels eines vorzugsweise ebenen Schleifwerkzeuges bis hin zur Schnittlinie 196 angeschliffen wird. Auch auf diese Weise lässt sich beispielsweise das in Figur 6A dargestellte Bodenteil 130 mit der konzentrisch variierenden Bodendicke erzeugen.

[0058] Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die in den Figuren 8 und 9 dargestellten Verfahrensvarianten lediglich Beispiele einer Vielzahl möglicher Herstellungsverfahren zur Herstellung eines Bodenteils sind. Diese Beispiele, insbesondere das in Figur 9 dargestellte Schneide- oder Schleifverfahren, zeichnen sich jedoch durch eine hohe Prozesssicherheit, eine hohe Reproduzierbarkeit der erzeugten Bodenteile 130 sowie durch vergleichsweise geringe Herstellungskosten für die Formen 178 aus.

Bezugszeichenliste

[0059]

110 Kryostat

112 Innengefäß
114 Außengefäß
116 Flansch
118 Flansch
120 Deckel
122 Hals des Innengefäßes
124 Hauptgefäß
126 Hohlraum
128 Seitenwand Außengefäß
130 Bodenteil Außengefäß
132 Kreisring
134 Innenseitenwand
136 Innenbodenteil
138 Kritischer Bereich
140 Verbindungsbereich
142 Verstärkungselement
144 Hochgezogener Rand des Innengefäßes
146 Stufe Innengefäß
148 Stufenfläche
150 Kragen
152 Vertiefungen
154 Gewindebohrungen
156 Hochgezogener Rand des Bodenteils
158 Stufe Außengefäß
160 Stufenfläche
162 Kragen
164 abgeschrägter Bereich
166 Dickenvariationsbereich
168 Innenseite
170 Außenseite
172 Ringstufen
174 ebener Zentralbereich
176 ringförmiger Krümmungsbereich
178 Form
180 oberer Stempel
182 unterer Stempel
184 Formnest
186 Oberfläche oberer Stempel
188 Oberfläche unterer Stempel
190 Trennlinie
192 Faserwerkstoff
194 Matrixmaterial
196 Schnittlinie

Patentansprüche

1. Kryostat (110) für den Einsatz in einem biomagnetischen Messsystem, umfassend mindestens ein Innengefäß (112) und mindestens ein Außengefäß (114) sowie mindestens einen zwischen dem Innengefäß (112) und dem Außengefäß (114) angeordneten Hohlraum (126), wobei der Hohlraum (126) mit einem Unterdruck beaufschlagbar ist, wobei das Außengefäß (114) ein Bodenteil (130) aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Bodenteil (130) einen Dickenvariationsbereich (166) mit einer konzentrisch variierenden Bodendicke aufweist, wobei die Bodendicke zur Mitte des Bodenteils (130) hin einen geringeren Wert annimmt als in einem Außenbereich.

2. Kryostat (110) nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei die Bodendicke über die laterale Erstreckung des Bodenteils (130) hinweg zwischen 0,1% und 5% beträgt, vorzugsweise zwischen 0,5% und 2% und besonders bevorzugt von 0,75% bis 1%.

3. Kryostat (110) nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei die Variation der Bodendicke stetig oder stufenweise erfolgt.

4. Kryostat (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Variation der Bodendicke zumindest näherungsweise ein parabelförmiges Profil aufweist.

5. Kryostat (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Dickenvariationsbereich (166) sich über 50% bis 100% der lateralen Erstreckung des Bodenteils (130) erstreckt.

6. Kryostat (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der Abstand zwischen dem Bodenteil (130) des Außengefäßes (114) und einem Innenbodenteil (136) des Innengefäßes (112) zwischen 3 mm und 30 mm beträgt, vorzugsweise zwischen 10 mm und 25 mm und besonders bevorzugt 20 mm.

7. Kryostat (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bodenteil (130) einen Durchmesser von mindestens 200 mm aufweist und vorzugsweise einen Durchmesser von 400 mm.

8. Kryostat (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bodenteil (130) eine nach außen weisende Außenseite (170) und eine nach innen weisende Innenseite (168) aufweist, wobei die Außenseite (170) bei Normaldruck in dem Hohlraum (126) einen im Wesentlichen ebenen Verlauf aufweist, wobei die Innenseite (168) bei Normaldruck in dem Hohlraum (126) eine gekrümmte Oberfläche aufweist.

9. Kryostat (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bodenteil (130) einen Faserwerkstoff (192), insbesondere einen Glasfaserwerkstoff und/oder einen Kohlefaserwerkstoff und/oder einen Mineralfaserwerkstoff aufweist.

10. Kryostat (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Außengefäß (114) weiterhin eine in einem umlaufenden Verbindungsbereich mit dem Bodenteil (130) verbundene Seitenwand (128) aufweist.

11. Kryostat (110) nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei das Bodenteil (130) einen hochgezogenen Rand (156) aufweist, wobei der hochgezogene Rand (156) eine Stufenfläche (160) aufweist, wobei die Seitenwand (128) auf der Stufenfläche (160) aufsitzt.

12. Biomagnetisches Messsystem, umfassend mindestens einen Kryostaten (110) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend mindestens einen biomagnetischen Sensor zur Detektion eines magnetischen Feldes.

13. Verfahren zur Herstellung eines Kryostaten (110) für den Einsatz in einem biomagnetischen Messsystem, insbesondere eines Kryostaten (110) nach einem der vorhergehenden, auf einen Kryostaten (110) gerichteten Ansprüche, wobei der Kryostat (110) mindestens ein Innengefäß (112) und mindestens ein Außengefäß (114) sowie mindestens einen zwischen dem Innengefäß (112) und dem Außengefäß (114) angeordneten Hohlraum (126) umfasst, wobei der Hohlraum (126) mit einem Unterdruck beaufschlagbar ist, wobei das Außengefäß (114) ein Bodenteil (130) aufweist, wobei das Bodenteil (130) einen Dickenvariationsbereich (166) mit einer konzentrisch variierenden Bodendicke aufweist, wobei die Bodendicke zur Mitte des Bodenteils (130) hin einen geringeren Wert annimmt als in einem Außenbereich, wobei das Verfahren folgende Schritte zur Herstellung des Bodenteils (130) umfasst:

    - mindestens ein aushärtbarer Werkstoff (194) wird in eine Form (178) eingebracht, wobei die Form (178) mindestens ein Formnest (184) und mindestens ein erstes Stempelteil (180) aufweist, wobei das erste Stempelteil (180) eine in das Formnest (184) hinein gekrümmte Oberfläche (186) aufweist;
    - der aushärtbare Werkstoff (192, 194) wird ausgehärtet.

14. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, wobei beim Einbringen des aushärtbaren Werkstoffes (192, 194) mindestens ein Faserwerkstoff (192) in das Formnest (184) eingebracht wird, wobei weiterhin mindestens ein aushärtbares Matrixmaterial (194) in das Formnest (184) eingebracht wird.

15. Verfahren nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, wobei die Form (178) weiterhin mindestens ein zweites Stempelteil (188) aufweist, wobei das zweite Stempelteil (188) eine gegenüber dem ersten Stempelteil (186) im Wesentlichen entgegengesetzte Krümmung aufweist, wobei nach dem Aushärten des aushärtbaren Werkstoffes das Bodenteil (130) dem Formnest (184) entnommen wird und wobei in einem anschließenden Schneide-

verfahren und/oder Schleifverfahren eine im Wesentlichen ebene Unterseite (170) des Bodenteils (130) erzeugt wird.

Claims

1. Cryostat (110) for use in a biomagnetic measurement system, comprising at least one inner vessel (112) and at least one outer vessel (114), and at least one cavity (126) arranged between the inner vessel (112) and the outer vessel (114), in which negative pressure can be applied to the cavity (126), with the outer vessel (114) having a base part (130), **characterized in that** the base part (130) has a region of varying thickness (166) with a concentrically varying base thickness, with the base thickness assuming a smaller value towards the centre of the base part (130) than in an outer region.

2. Cryostat (110) according to the preceding claim, in which the base thickness is between 0.1% and 5%, preferably between 0.5% and 2%, and particularly preferably between 0.75% and 1%, over the lateral extent of the base part (130).

3. Cryostat (110) according to one of the two preceding claims, in which the variation in the base thickness is continuous or stepwise.

4. Cryostat (110) according to one of the preceding claims, in which the variation in the base thickness has at least approximately a parabolic profile.

5. Cryostat (110) according to one of the preceding claims, in which the region of varying thickness (166) extends over 50% to 100% of the lateral extent of the base part (130).

6. Cryostat (110) according to one of the preceding claims, in which the spacing between the base part (130) of the outer vessel (114) and an inner base part (136) of the inner vessel (112) is between 3 mm and 30 mm, preferably between 10 mm and 25 mm, and particularly preferably 20 mm.

7. Cryostat (110) according to one of the preceding claims, in which the base part (130) has a diameter of at least 200 mm and preferably has a diameter of 400 mm.

8. Cryostat (110) according to one of the preceding claims, in which the base part (130) has an outer side (170) facing outwards and an inner side (168) facing inwards, in which the outer side (170) has a substantially planar profile in the case of normal pressure in the cavity (126), with the inner side (168) having a curved surface in the case of normal pressure in the cavity (126).

9. Cryostat (110) according to one of the preceding claims, in which the base part (130) has a fibrous material (192), in particular a glass fibre material and/or a carbon fibre material and/or a mineral fibre material.

10. Cryostat (110) according to one of the preceding claims, in which the outer vessel (114) furthermore has a side wall (128) connected to the base part (130) in a circumferential connection region.

11. Cryostat (110) according to the preceding claim, in which the base part (130) has an elevated edge (156), in which the elevated edge (156) has a step surface (160), with the side wall (128) sitting on the step surface (160).

12. Biomagnetic measurement system, comprising at least one cryostat (110) according to one of the preceding claims, furthermore comprising at least one biomagnetic sensor for detecting a magnetic field.

13. Method for producing a cryostat (110) for use in a biomagnetic measurement system, particularly a cryostat (110) according to one of the preceding claims directed at a cryostat (110), in which the cryostat (110) comprises at least one inner vessel (112) and at least one outer vessel (114), and at least one cavity (126) arranged between the inner vessel (112) and the outer vessel (114), in which negative pressure can be applied to the cavity (126), with the outer vessel (114) having a base part (130), in which the base part (130) has a region of varying thickness (166) with a concentrically varying base thickness, with the base thickness assuming a smaller value towards the centre of the base part (130) than in an outer region, in which the method comprises the following steps for producing the base part (130):

- at least one curable material (194) is introduced into a mould (178), in which the mould (178) has at least one mould cavity (184) and at least one first stamp part (180), with the first stamp part (180) having a surface (186) which curves into the mould cavity (184);
- the curable material (192, 194) is cured.

14. Method according to the preceding claim, in which at least one fibrous material (192) is introduced into the mould cavity (184) during the introduction of the curable material (192, 194), with furthermore at least one curable matrix material (194) being introduced into the mould cavity (184).

15. Method according to one of the two preceding claims, in which the mould (178) furthermore has at least a second stamp part (188), in which the second stamp part (188) has a substantially opposite curvature compared to the first stamp part (186), with the base part (130) being removed from the mould cavity (184) once the curable material has cured and with a substantially planar underside (170) of the base part (130) being produced in a subsequent cutting method and/or grinding method.

Revendications

1. Cryostat (110), pour l'utilisation dans un système de mesure biomagnétique, comprenant au moins un récipient intérieur (112) et au moins un récipient extérieur (114), ainsi qu'au moins un espace creux (126) disposé entre le récipient intérieur (112) et le récipient extérieur (114), l'espace creux (126) étant susceptible d'être sollicité avec un vide, le récipient extérieur (114) présentant une partie fond (130), **caractérisé en ce que** la partie fond (130) présente une zone à variation d'épaisseur (166), avec une épaisseur de fond variant concentriquement, l'épaisseur de fond prenant, au centre de la partie fond (130), une plus faible valeur que dans une zone extérieure.

2. Cryostat (110) selon la revendication précédente, l'épaisseur de fond ayant, sur l'étendue latérale de la partie fond (130), une valeur comprise entre 0,1% et 5%, de préférence comprise entre 0,5% et 2% et, de manière particulièrement préférée, comprise entre 0,75% et 1%.

3. Cryostat (110) selon l'une des deux revendications précédentes, la variation de l'épaisseur de fond se produit continument ou par degrés.

4. Cryostat (110) selon l'une des revendications précédentes, la variation de l'épaisseur de fond présente au moins approximativement un profil en forme de parabole.

5. Cryostat (110) selon l'une des revendications précédentes, la zone à variation d'épaisseur (166) s'étend sur 50% à100% de l'étendue latérale de la partie fond (130).

6. Cryostat (110) selon l'une des revendications précédentes, l'espacement entre la partie fond (130) du récipient extérieur (114) et une partie de fond intérieur (136) du récipient intérieur (112) est compris entre 3 mm et 30 mm, de préférence entre 10 mm et 25 mm et, de manière particulièrement préférée, est de 20 mm.

7. Cryostat (110) selon l'une des revendications précédentes, la partie fond (130) présente un diamètre d'au moins 200 mm et, de préférence, un diamètre de 400 mm.

8. Cryostat (110) selon l'une des revendications précédentes, la partie fond (130) présente une face extérieure (170) tournée vers l'extérieur et une faxe intérieure (168) tournée vers l'intérieur, la face extérieure (170), pour une pression normale dans l'espace creux (126) présentant une allure sensiblement plane, la face intérieure (168), pour une pression normale dans l'espace creux (126), présentant une surface incurvée.

9. Cryostat (110) selon l'une des revendications précédentes, la partie fond (130) présente un matériau à base de fibres (192), en particulier un matériau à base de fibres de verre et/ou un matériau à base de fibres de carbone et/ou un matériau à base de fibres minérales.

10. Cryostat (110) selon l'une des revendications précédentes, le récipient extérieur (114) présente en outre une paroi latérale (128), reliée à la partie fond (130) dans une zone de liaison faisant le pourtour.

11. Cryostat (110) selon la revendication précédente, la partie fond (130) présentant un bord (156) relevé, le bord (156)

relevé présentant une face en échelonnement (160), la paroi latérale (128) reposant sur la face en échelonnement (160).

12. Système de mesure biomagnétique, comprenant au moins un cryostat (110) selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre au moins un capteur biomagnétique, pour la détection d'un champ magnétique.

13. Procédé de fabrication d'un cryostat (110) pour l'utilisation dans un système de mesure biomagnétique, en particulier un cryostat (110) selon l'une des revendications précédentes, orientées vers un cryostat (110), le cryostat (110) comprenant au moins un récipient intérieur (112) et au moins un récipient extérieur (114), ainsi qu'au moins un espace creux (126) disposé entre le récipient intérieur (112) et le récipient extérieur (114), l'espace creux (126) étant susceptible d'être sollicité avec un vide, le récipient extérieur (114) présentant une partie fond (130), la partie fond (130) présentant une zone à variation d'épaisseur (166), avec une épaisseur de fond variant concentriquement, l'épaisseur de fond prenant, au centre de la partie fond (130), une plus faible valeur que dans une zone extérieure, le procédé de fabrication de la partie fond (130) comprenant les étapes suivantes :

- au moins un matériau (194) durcissable est introduit dans un moule (178), le moule (178) présentant au moins une poche de formage (184) et au moins une première partie formant poinçon (180), la première partie formant poinçon (180) présentant une surface (186) incurvée dans la poche de formage (184) ;
- le matériau (192, 194) durcissable est durci.

14. Procédé la revendication précédente, où, lors de l'introduction du matériau (192, 194) durcissable, au moins un matériau à base de fibres (192) est introduit dans la poche de formage (184), en outre au moins un matériau de matrice (194) est introduit dans la poche de formage (184).

15. Procédé selon l'une des deux revendications précédentes, le moule (178) présentant au moins une deuxième partie formant poinçon (188), la deuxième partie formant poinçon (188) présentant une courbure sensiblement opposée par rapport à la première partie formant poinçon (186), sachant que, après durcissement du matériau durcissable, la partie de fond (130) est retirée de la poche de formage (184) et, dans un processus de découpage subséquent et/ou un processus de meulage subséquent, une face inférieure (170) sensiblement plane de la partie fond (130) est produite.

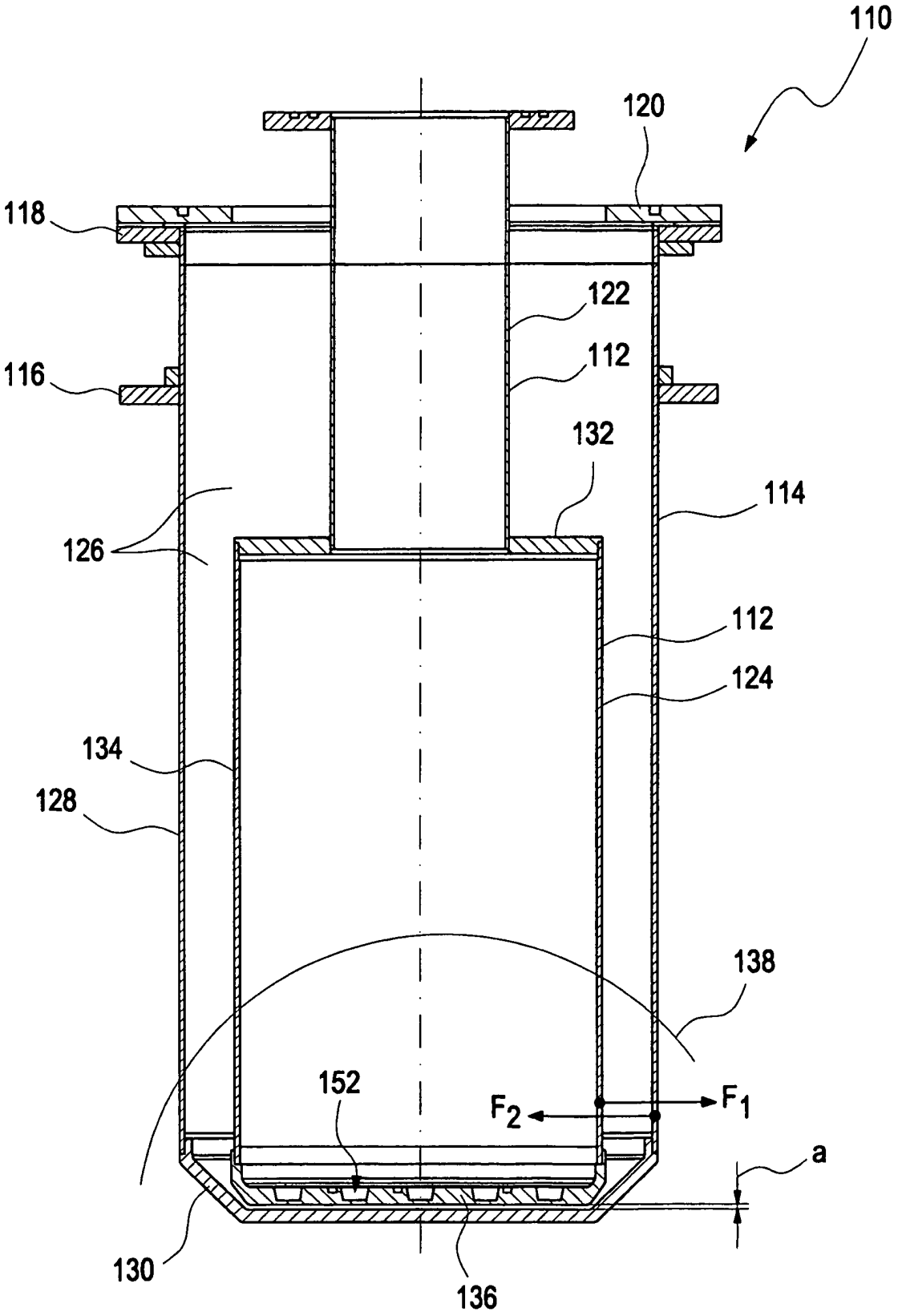

110
120
118
122
112
116
132
114
126
112
124
134
128
138
152
F_2
F_1
a
130
136

Fig. 1

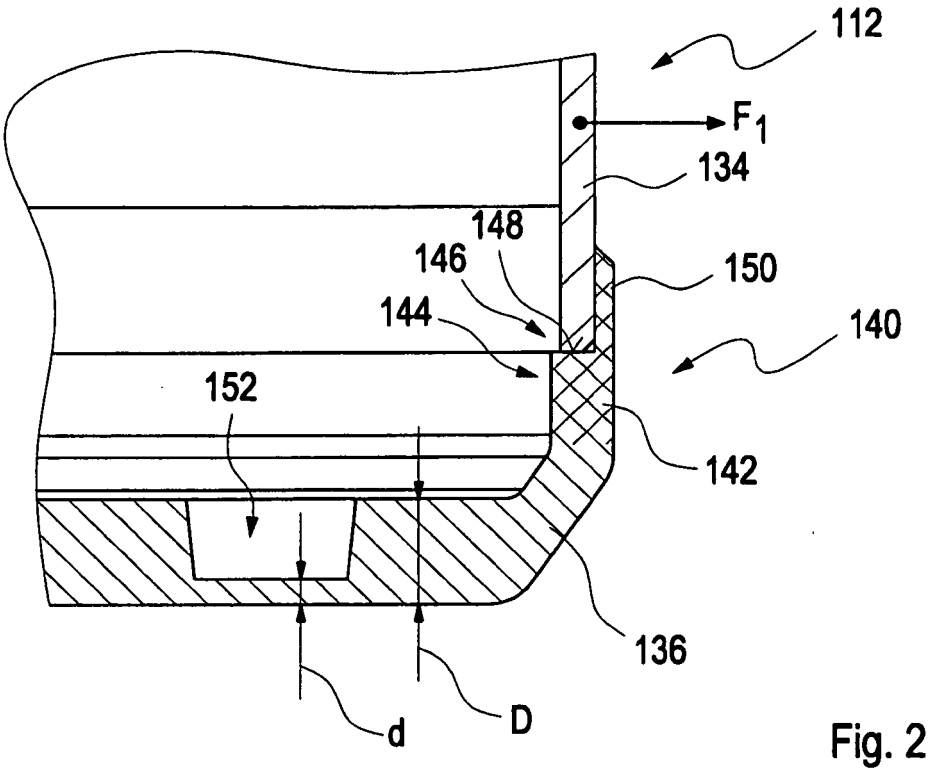

112
F_1
134
148
146
150
144
140
152
142
136
d
D

Fig. 2

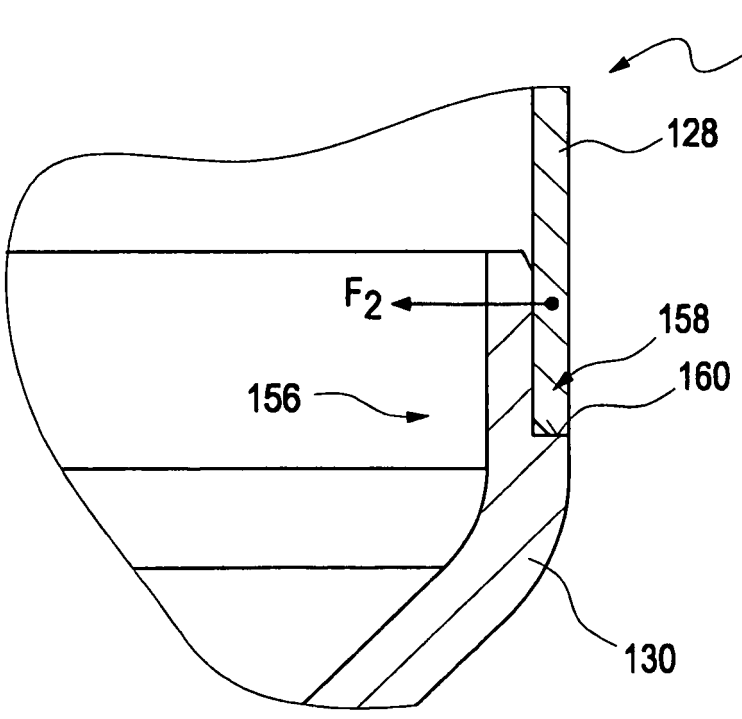

114
128
F_2
158
160
156
130

Fig. 3

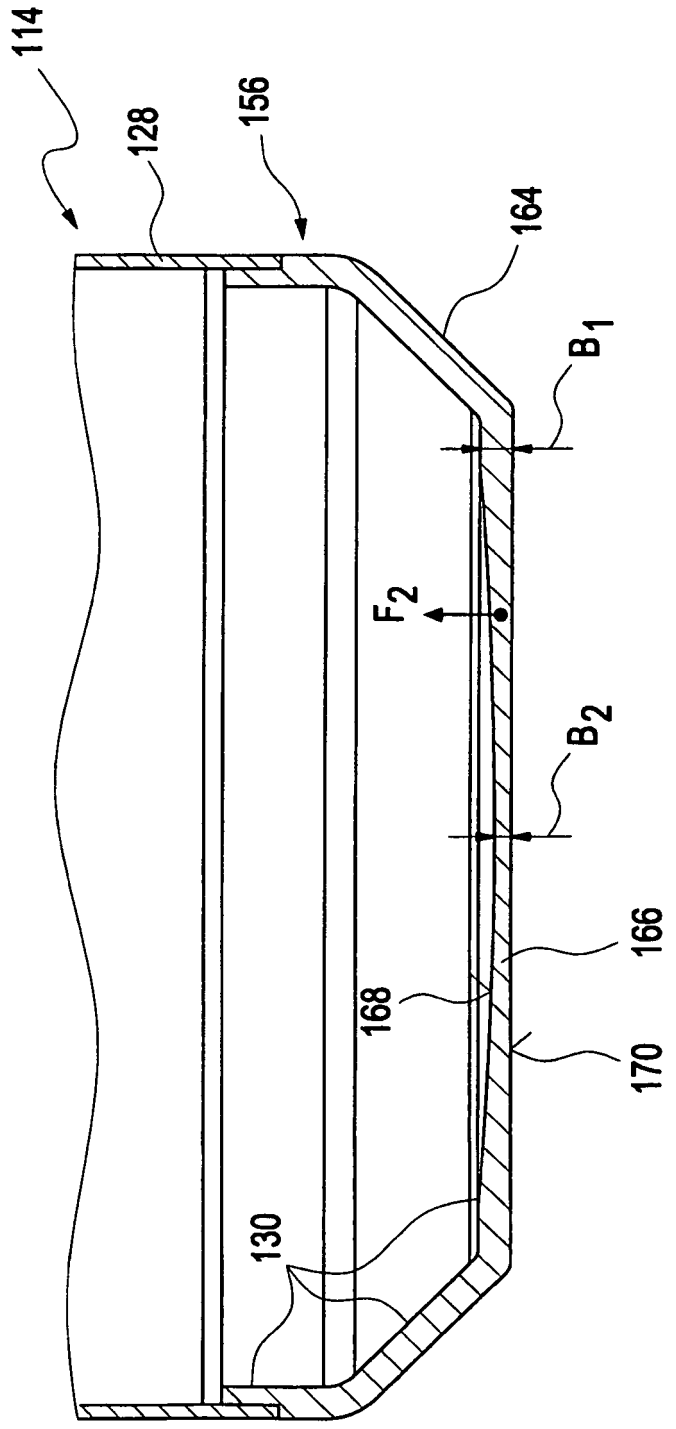


Fig. 4

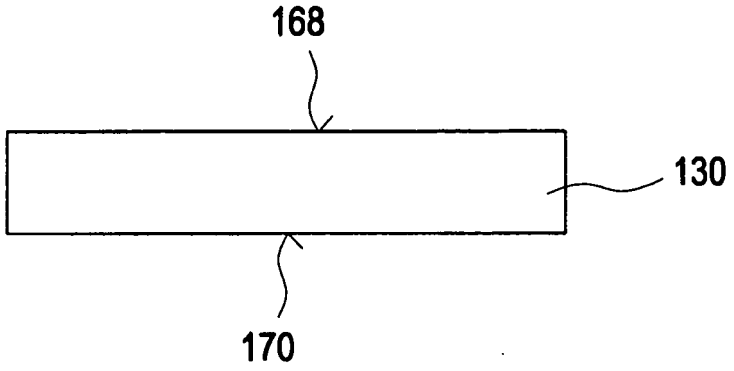


Fig. 5 A

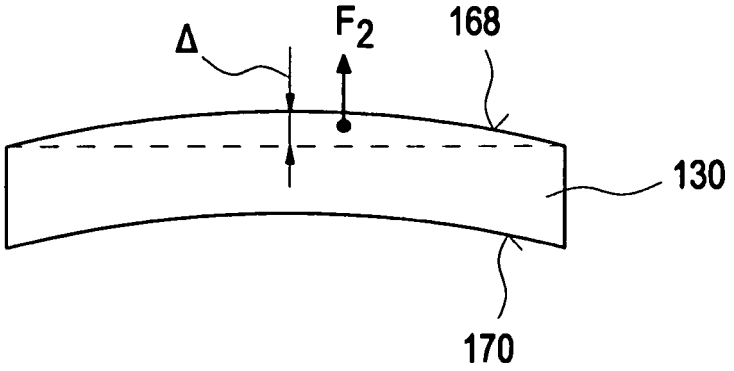


Fig. 5 B

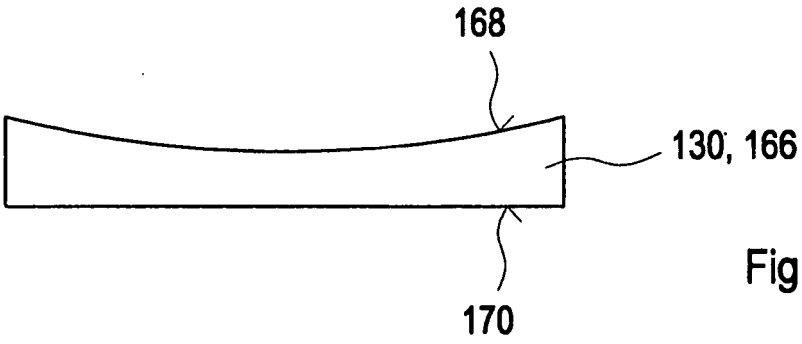


Fig. 6 A

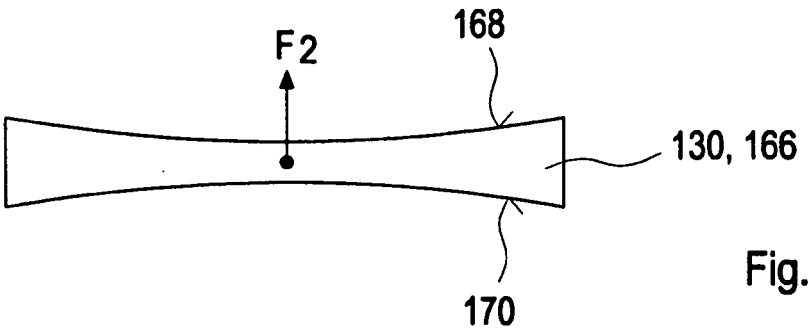


Fig. 6 B

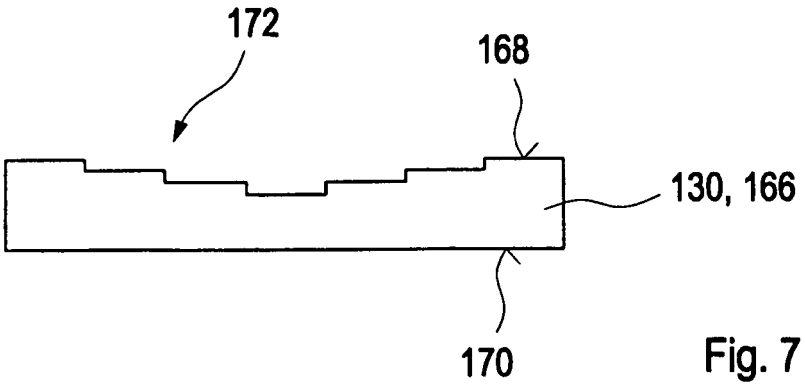


Fig. 7 A

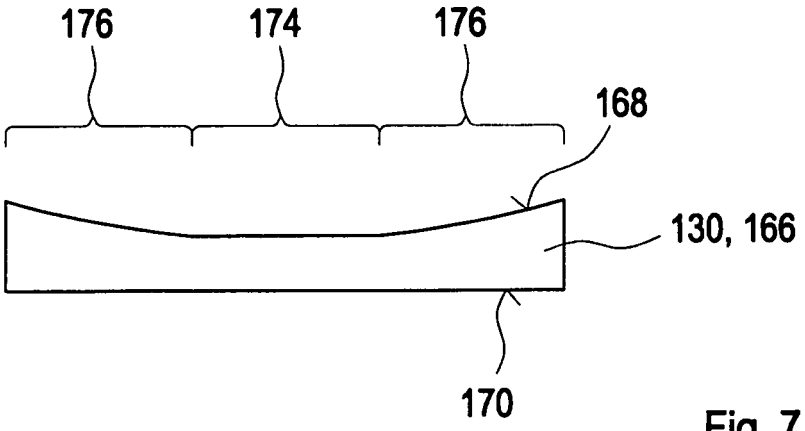


Fig. 7 B

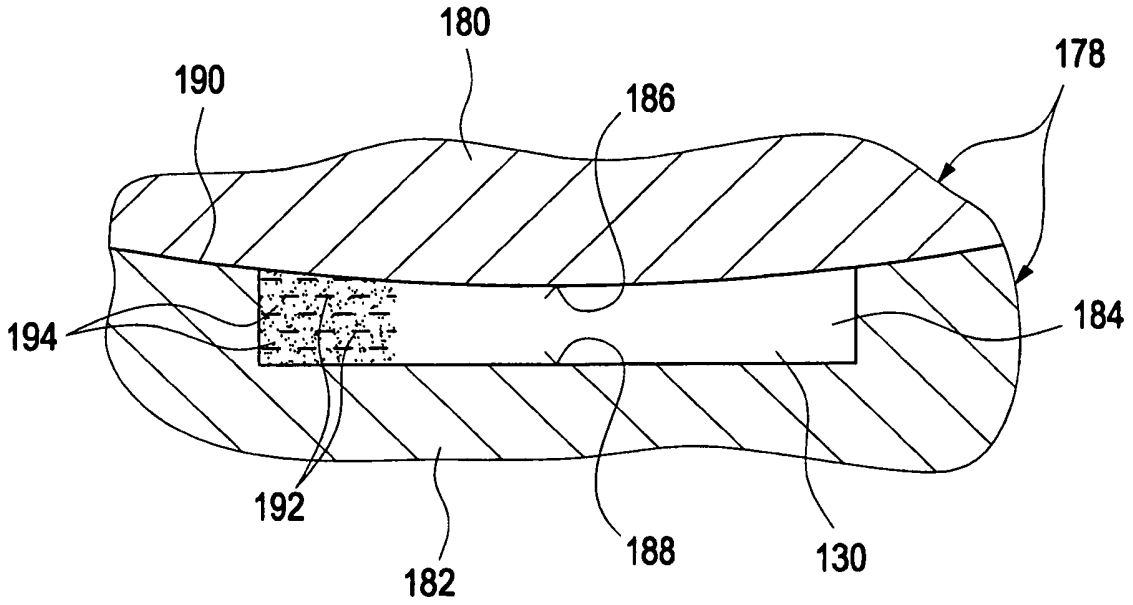

180
190
186
178
194
184
192
188
130
182

Fig. 8

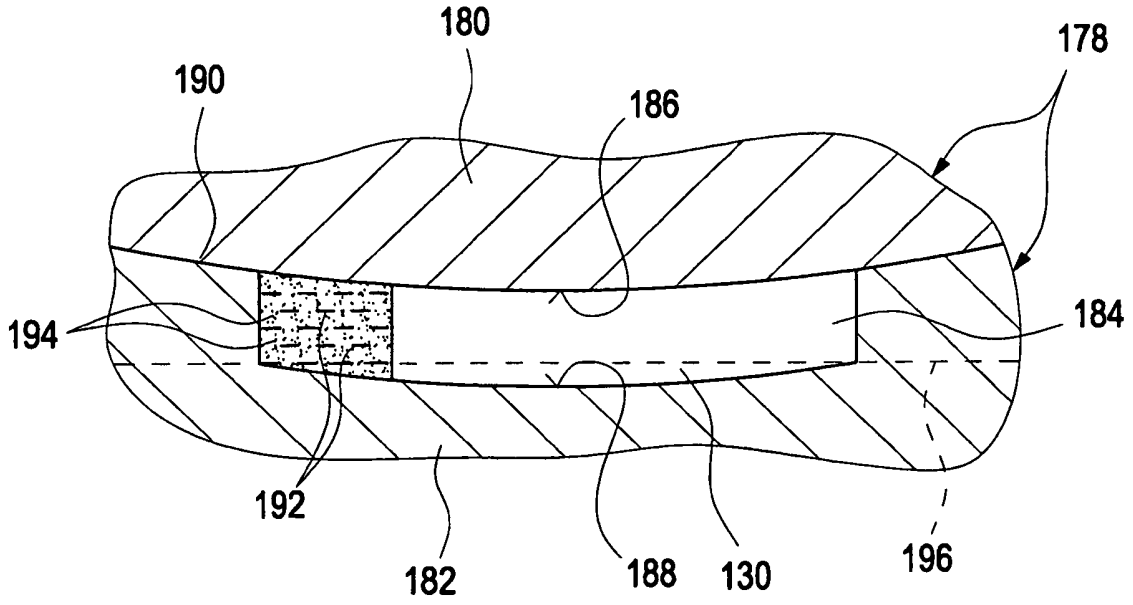

180
190
186
178
194
184
192
188
130
196
182

Fig. 9

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 9403754 A **[0008]**
- DE 29809387 U1 **[0009]**
- DE 19544593 A1 **[0010]**