



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 22 944 T2** 2008.07.17

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) EP 1 548 301 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 22 944.8**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP02/07911**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 751 827.3**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2004/013504**

(86) PCT-Anmeldetag: **02.08.2002**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **12.02.2004**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **29.06.2005**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **10.10.2007**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.07.2008**

(51) Int Cl.⁸: **F16C 32/04** (2006.01)

(73) Patentinhaber:

**Demachi, Kazuyuki, Ibaraki, JP; JTEKT Corp.,
Osaka, JP**

(74) Vertreter:

**TER MEER STEINMEISTER & Partner GbR
Patentanwälte, 33617 Bielefeld**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT, NL

(72) Erfinder:

**MIYA, Kenzo, Koganei-shi, Tokyo 184-0011, JP;
DEMACHI, Kazuyuki, Naka-gun, Ibaraki 319-1188,
JP; KAMENO, Hironori, Osaka-shi, Osaka
542-8502, JP; TAKAHATA, Ryouichi, Osaka-shi,
Osaka 542-8502, JP**

(54) Bezeichnung: **SUPRALEITENDES MAGNETISCHES LAGER**

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

Gebiet der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein supraleitendes magnetisches Lager mit einem festen Lagerbereich mit einer ringförmigen Supraleiter-Einheit, die auf einem festen Bereich angebracht ist, und einem drehbaren Lagerbereich mit einer ringförmigen Dauermagneteinheit, die auf einem drehbaren Bereich der Supraleiter-Einheit gegenüberliegend angeordnet ist, wobei der drehbare Bereich gegenüber dem festen Bereich berührungslos durch den Pinning-Effekt eines Supraleiters gelagert wird, der die Supraleiter-Einheit bildet, und wobei die Supraleiter-Einheit eine Anzahl von in Umfangsrichtung geteilten Supraleiter-Teilen umfasst.

[0002] Das Dokument JP 05 248 436 A, Japan-Patent-Zusammenfassung Band 018, Nr. 006 (M-1537), beschreibt ein supraleitendes magnetisches Lager der vorbeschriebenen Art.

Stand der Technik

[0003] Zu den supraleitenden magnetischen Lagern der vorerwähnten und vorbekannten Art gehören solche, die einen festen Lagerbereich mit einer ringförmigen Supraleiter-Einheit, die auf einem festen Bereich angebracht ist, und einen drehbaren Bereich mit einem auf einem drehbaren Abschnitt der Supraleiter-Einheit gegenüberliegend angeordneten ringförmigen Dauermagneten umfasst. Zu diesen supraleitenden magnetischen Lagern gehören weiterhin supraleitende magnetische Lager in radialer Ausführung, bei denen zwei Lagerbereiche in radialer Richtung des Lagers gegenüberliegend angeordnet sind, sowie in axialer Ausführung mit zwei in Achsrichtung des Lagers gegenüberliegend angeordneten Lagerbereichen.

[0004] Fig. 1 zeigt ein Beispiel eines konventionellen supraleitenden magnetischen Lagers in radialer Ausführung.

[0005] In Fig. 1 sind ein fester Bereich 1 in Form einer Welle sowie ein drehbarer Bereich 2 in Form eines um den festen Bereich 1 herum drehbaren Hohlzylinders dargestellt. Der feste Bereich 1 ist mit einem festen Lagerabschnitt 3 und der drehbare Bereich 2 mit einem drehbaren Lagerabschnitt 4 versehen.

[0006] Der feste Lagerbereich 3 ist mit einer Supraleiter-Einheit 5 in Form eines Hohlzylinders versehen. Wie aus Fig. 2 ersichtlich, weist die Supraleiter-Einheit eine Anzahl von Supraleiter-Teilen 6 in Form von in Umfangsrichtung geteilten Segmenten eines Hohlzylinders auf. Jedes dieser Supraleiter-Teile 6 umfasst einen Supraleiter der zweiten Art,

in dem feine normal leitende Teilchen gleichmäßig angeordnet sind. Die Supraleiter-Teile 6 werden beispielsweise mit Flüssigstickstoff gekühlt.

[0007] Der drehbare Lagerbereich 4 umfasst zwei hohlzylindrische Dauermagneteinheiten 7, 8, die in Achsrichtung des Lagers Seite an Seite angeordnet sind, sowie drei ringförmige Joche 9 aus magnetischem Material mit Anordnung zwischen den benachbarten Endflächen der beiden Magneteinheiten 7, 8 sowie über die anderen Endflächen derselben hinweg. Wenngleich nicht im Detail dargestellt, weist jeder der Magneteinheiten 7 (8) eine Anzahl von Dauermagnetelementen 10 (11) in der Form von in Umfangsrichtung geteilten Segmenten eines Hohlzylinders auf. Jede der Dauermagneteinheiten 7, 8 besitzt Magnetpole an axial (oben und unten) gegenüberliegenden Enden. Die benachbarten Enden der beiden Dauermagneteinheiten 7, 8 haben gleiche Polarität. In diesem Falle weisen die obere Einheit 7 einen N-Pol an ihrem oberen und einen S-Pol an ihrem unteren Ende und die untere Einheit einen S-Pol an ihrem oberen und einen N-Pol an ihrem unteren Ende auf.

[0008] Die obere Dauermagneteinheit 7 erzeugt ein durch den Pfeil A in Fig. 1 bezeichnetes Magnetfeld zwischen der Magneteinheit 7 und dem oberen Abschnitt der Supraleiter-Einheit 5. Entsprechend wird von der unteren Dauermagneteinheit 8 ein durch den Pfeil B in Fig. 1 dargestelltes Magnetfeld zwischen der Magneteinheit 8 und dem unteren Abschnitt der Supraleiter-Einheit 5 aufgebaut. Wird die Supraleiter-Einheit 5 durch Kühlen in den supraleitenden Zustand überführt, so werden die die Einheit 5 durchdringenden Magnetfelder in normal leitenden Bereichen (Pinning-Punkten) der normal leitenden Teilchen im Innern der Einheit 5 gefangen und wird der drehbare Lagerbereich 4 durch diesen Pinning-Effekt in der axialen und radialen Richtung relativ zum festen Lagerbereich 3 gelagert.

[0009] In den Dauermagneteinheiten 7, 8 des vorbeschriebenen supraleitenden magnetischen Lagers sind die Dauermagnetelemente 10, 11 über den Umfang hinweg in ihrem Magnetfeld gleichmäßig, nicht aber in den Grenzbereichen zwischen benachbarten Magnetelementen 10, 11. Die Joche 9 dienen dazu, diese Ungleichmäßigkeiten des Magnetfelds in Umfangsrichtung auszuschalten und ermöglichen durch ihr Vorhandensein, dass von den Dauermagneteinheiten 7, 8 im Wesentlichen gleichmäßige Magnetfelder aufgebaut werden. Damit bleiben die Magnetfelder unverändert und wird trotz Drehung der Magneteinheiten 7, 8 mit dem mit dem drehbaren Bereich 2 kein Drehwiderstand erzeugt. Die im Umfang gleichmäßigen Magnetfelder werden wie vorbeschrieben an den Pinning-Punkten der Supraleiter-Einheit 5 gefangen.

[0010] Da die Supraleiter-Einheit 5 aus einer Anzahl von in Umfangsrichtung geteilten Supraleiter-Teilen 6 besteht, stellt sich hier andererseits das Problem, dass die von der Einheit 5 aufgebauten Magnetfelder relativ zur Umfangsrichtung ungleichmäßig sind.

[0011] Es folgt eine Beschreibung der Supraleiter-Teile 6, in denen die von den Dauermagneteinheiten 7, 8 erzeugten Magnetfelder gefangen sind. Wie aus Fig. 2 ersichtlich, wird das Magnetfeld an einer großen Zahl von Pinning-Punkten 12 in jedem Supraleiter-Element 6 gefangen und fließt ein durch einen Pfeil C bezeichneter Abschirmstrom um den Punkt 12. Das durch diesen Abschirmstrom aufgebaute Magnetfeld wird zu einem durch das Element 6 gefangenen Magnetfeld. Im Innern des Elements 6 sind die Pinning-Punkte 12 in Umfangsrichtung gleichmäßig verteilt, so dass die eingefangenen Magnetfelder gleichmäßig sind. In dem Grenzbereich zwischen benachbarten Supraleiter-Teilen 6 sind die Verteilung der Magnetfelder und die Magnetfelder selbst ungleichmäßig. Die makroskopische Betrachtung zeigt, dass die gleichmäßig verteilten Abschirmströme um die Pinning-Punkte 12 herum voneinander abgesetzt sind, die Abschirmströme um die äußersten Pinning-Punkte 12 im Grenzbereich zwischen den Supraleiter-Teilen 6 aber nicht mit dem Ergebnis, dass bei Betrachtung des Elements 6 als Ganzes ein Abschirmstrom wie durch die Strichlinie D in Fig. 2 bezeichnet fließt. Da ein solcher Abschirmstrom durch jedes Element 6 strömt, wird das Magnetfeld der Supraleiter-Einheit 5 in Umfangsrichtung ungleichmäßig. Werden aber die von der Einheit 5 aufgebauten Magnetfelder in Umfangsrichtung ungleichmäßig, so werden die Dauermagneteinheiten 7, 8 bei einer Drehung mit dem drehbaren Bereich 2 veränderlichen Magnetfeldern ausgesetzt, wodurch Wirbelströme in den Einheiten 7, 8 entstehen und damit Rotationsverluste verursacht werden.

[0012] Wirbelströme treten aufgrund umfangsmäßiger Ungleichheit der Magnetfelder in der Supraleiter-Einheit 5 auch in den Jochen 9 auf.

[0013] Eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, das vorgeschilderte Problem auszuschalten und ein supraleitendes magnetisches Lager bereitzustellen, bei dem die durch Ungleichmäßigkeit der von der Supraleiter-Einheit aufgebauten Magnetfelder bedingten Wirbelströme in den Dauermagneteinheiten und Jochen verringert werden, um einen reduzierten Rotationsverlust sicherzustellen.

Beschreibung der Erfindung

[0014] Durch die vorliegende Erfindung wird ein supraleitendes magnetisches Lager nach Anspruch 1 bereitgestellt.

[0015] Die Dauermagnetelemente sind in überein-

anderliegenden Schichten in zumindest der axialen oder der radialen Richtung angeordnet.

[0016] Beispielsweise werden Dauermagnetelemente in jeweils der Form einer Scheibe mit Loch in axialer Richtung und in jeweils der Form dünner Hohlzylinder in radialer Richtung des Lagers in Schichten übereinander angeordnet. Weiter werden zum Beispiel eine Anzahl von ringförmigen Dauermagnetelementen von jeweils quadratischem oder rechteckigem Querschnitt in sowohl axialer als auch radialer Richtung des Lagers in Schichten übereinander vorgesehen.

[0017] Jedes Dauermagnetelement kann einstückig über den gesamten Umfang verlaufend oder in Form einer Anzahl von in Umfangsrichtung geteilten kreisbogenförmigen Segmenten vorgesehen sein. Damit werden die Dauermagnetelemente in übereinanderliegenden Schichten in zumindest der Axial-, der Radial- oder der Umfangsrichtung angeordnet.

[0018] Im Falle eines supraleitenden magnetischen Lagers in radialer Ausführung, bei dem der feste und der drehbare Bereich in Radialrichtung des Lagers gegenüberliegend angeordnet sind, sind beispielsweise eine Anzahl von Dauermagnetelementen in jeweils der Form einer Scheibe mit Loch in axialer Richtung des Lagers in Schichten übereinander vorgesehen. Alternativ sind eine Anzahl ringförmiger Dauermagnetelemente in sowohl der axialen als auch der radialen Richtung des Lagers in Schichten übereinander angeordnet.

[0019] Im Falle eines supraleitenden magnetischen Lagers in axialer Ausführung, bei dem der feste und der drehbare Bereich in axialer Richtung des Lagers gegenüberliegend angeordnet sind, sind beispielsweise eine Anzahl von Dauermagnetelementen in jeweils der Form dünner Hohlzylinder in Radialrichtung des Lagers in Schichten übereinander vorgesehen. Alternativ sind eine Anzahl ringförmiger Dauermagnetelemente in sowohl der Axial- als auch der Radialrichtung des Lagers in Schichten übereinander angeordnet.

[0020] Bei dem erfindungsgemäßen supraleitenden magnetischen Lager umfasst die Dauermagneteinheit eine Anzahl von Dauermagnetelementen, die in aufeinanderliegenden Schichten angeordnet sind, wobei eine elektrisch isolierende Schicht zwischen jedem benachbarten Paar von Magnetelementen vorgesehen ist, so dass die in den Magneteinheiten erzeugten Wirbelströme selbst dann verringert werden, wenn die Dauermagneteinheit veränderlichen Magnetfeldern ausgesetzt ist, wodurch ein reduzierter Rotationsverlust gewährleistet wird.

[0021] Damit lassen sich bei dem erfindungsgemäßen supraleitenden magnetischen Lager die erzeug-

ten Wirbelströme und damit der Rotationsverlust reduzieren.

[0022] Vorzugsweise erstreckt sich die Supraleiter-Einheit über den gesamten Umfang, wobei diese unter dem Gesichtspunkt einer vereinfachten Herstellung üblicherweise eine Anzahl von in Umfangsrichtung geteilten Supraleiter-Teilen aufweist.

[0023] In dem Falle, wo die Supraleiter-Einheit eine Anzahl von in Umfangsrichtung geteilten Supraleiter-Teilen umfasst, werden die aufzubauenden Magnetfelder in Umfangsrichtung ungleichmäßig mit dem Ergebnis, dass die Magneteinheit bei ihrer Drehung mit dem drehbaren Bereich veränderlichen Magnetfeldern ausgesetzt ist. Bei dem erfindungsgemäßen supraleitenden magnetischen Lager jedoch umfasst die Dauermagneteinheit eine Anzahl von in aufeinanderliegenden Schichten angeordneten Dauermagnetelementen mit einer Isolierschicht zwischen jedem benachbarten Dauermagnetenpaar. Durch diese Konstruktion werden die in der Magneteinheit erzeugten Wirbelströme und der durch die Wirbelströme bedingte Rotationsverlust reduziert.

[0024] Damit werden aufgrund der vorbeschriebenen konstruktiven Gestaltung die durch Ungleichmäßigkeit der von der Supraleiter-Einheit aufgebauten Magnetfelder in der Dauermagneteinheit erzeugten Wirbelströme und der im anderen Falle sich ergebende Rotationsverlust reduziert.

[0025] Beispielsweise umfasst der drehbare Lagerbereich die ringförmige Dauermagneteinheit und ein ringförmiges Joch, das zu der Dauermagneteinheit benachbart ist und der Supraleiter-Einheit gegenüberliegt, welches Joch eine Anzahl von Jochelementen aus einem magnetischen Material aufweist, die in aufeinanderliegenden Schichten angeordnet sind, wobei zwischen jedem benachbarten Jochelementenpaar eine isolierende Schicht einliegt.

[0026] Als Magnetmaterial für die Jochelemente wird beispielsweise Siliziumstahlblech verwendet.

[0027] Bei einem supraleitenden magnetischen Lager in radialer Ausführung sind beispielsweise Jochelemente in Form von jeweils einer Scheibe mit Loch in axialer Richtung des Lagers in übereinanderliegenden Schichten angeordnet, während bei einem solchen in axialer Ausführung Jochelemente in Form von jeweils einer Scheibe mit Loch in radialer Richtung des Lagers in übereinanderliegenden Schichten vorgesehen sind.

[0028] Der drehbare Lagerbereich weist mindestens eine Dauermagneteinheit auf.

[0029] Im Falle der Anordnung einer einzigen Dauermagneteinheit wird das Joch vorzugsweise an zwei

Stellen auf gegenüberliegenden Seiten der Magneteinheit vorgesehen.

[0030] Vorzugsweise ist der drehbare Lagerbereich mit mehreren Dauermagneteinheiten ausgestattet, und zwar weiter bevorzugt mit zwei Dauermagneteinheiten. Im Falle der Anordnung von zwei Magneteinheiten in dem drehbaren Lagerbereich wird das Joch vorzugsweise an drei Stellen, nämlich zwischen den beiden Magneteinheiten und auf gegenüberliegenden Seiten der Dauermagnetanordnung, vorgesehen.

[0031] Bei dem supraleitenden magnetischen Lager in radialer Ausführung sind beispielsweise zwei Dauermagneteinheiten in axialer Richtung des Lagers und das Joch an drei Stellen, nämlich zwischen diesen Magneteinheiten und auf axial gegenüberliegenden Seiten der Dauermagnetanordnung, vorgesehen.

[0032] Bei dem supraleitenden magnetischen Lager in axialer Ausführung sind beispielsweise zwei Dauermagneteinheiten in radialer Richtung des Lagers und das Joch an drei Stellen, nämlich zwischen diesen Magneteinheiten und auf radial gegenüberliegenden Seiten der Dauermagnetanordnung, vorgesehen.

[0033] Das Joch weist Jochelemente auf, die in aufeinanderliegenden Schichten zumindest in axialer oder radialer Richtung, vorzugsweise in vielen Richtungen, wenn dies konstruktiv möglich ist, angeordnet sind.

[0034] Werden Joche beim Drehen mit dem drehbaren Lagerbereich veränderlichen Magnetfeldern ausgesetzt, so werden auch in diesen Wirbelströme erzeugt, während im Falle von Jochanordnungen, bei denen jedes Joch eine Anzahl von Jochelementen aus magnetischen Material aufweist, die in übereinanderliegenden Schichten angeordnet sind und bei denen zwischen jedem Paar von Jochelementen eine Isolierschicht vorgesehen ist, welche die in dem Joch erzeugten Wirbelströme verringert, um den im anderen Falle durch die Wirbelströme verursachten Rotationsverlust zu reduzieren.

[0035] Die vorbeschriebene konstruktive Gestaltung reduziert also die Wirbelströme, die aufgrund von Ungleichmäßigkeit der von der Supraleiter-Einheit aufgebauten Magnetfelder erzeugt werden, und verringert somit den Rotationsverlust.

Kurzbeschreibung der Zeichnungen

[0036] Es zeigen:

[0037] **Fig. 1** eine Vertikalschnittansicht, die in schematischer Darstellung ein Beispiel eines kon-

ventionellen supraleitenden magnetischen Lagers in radialer Ausführung zeigt;

[0038] **Fig. 2** eine Perspektivansicht eines Teils einer Supraleiter-Einheit gemäß **Fig. 1**;

[0039] **Fig. 3** eine Vertikalschnittansicht eines supraleitenden magnetischen Lagers in radialer Ausführung in einer ersten Ausführungsform der Erfindung;

[0040] **Fig. 4** eine teilweise weggebrochen gezeichnete Teil-Perspektivansicht des drehbaren Lagerbereichs gemäß **Fig. 3**;

[0041] **Fig. 5** eine teilweise weggebrochen gezeichnete Teil-Perspektivansicht des drehbaren Lagerbereichs gemäß **Fig. 3** in auseinandergezogener Darstellung;

[0042] **Fig. 6** eine teilweise weggebrochen gezeichnete Teil-Perspektivansicht einer in der ersten Ausführungsform enthaltenen abgewandelten Dauermagneteinheit;

[0043] **Fig. 7** eine Vertikalschnittansicht eines supraleitenden magnetischen Lagers in axialer Ausführung in einer zweiten Ausführungsform der Erfindung;

[0044] **Fig. 8** eine teilweise weggebrochen gezeichnete Teil-Perspektivansicht des drehbaren Lagerbereichs gemäß **Fig. 7**; und

[0045] **Fig. 9** eine teilweise weggebrochen gezeichnete Teil-Perspektivansicht des drehbaren Lagerbereichs gemäß **Fig. 7** in auseinandergezogener Darstellung.

Beste Ausführungsformen der Erfindung

[0046] Es folgt eine Beschreibung von zwei Ausführungsformen der Erfindung mit Bezug auf **Fig. 3** bis **Fig. 6**.

[0047] **Fig. 3** bis **Fig. 5** zeigen die erste dieser Ausführungsformen.

[0048] In **Fig. 3** ist ein supraleitendes magnetisches Lager **22** in radialer Ausführung dargestellt, in dem ein drehbarer Körper **21** als relativ zu einem festen Abschnitt **20** drehbarer Bereich berührungslos gelagert ist. Das supraleitende magnetische Lager **22** weist einen auf dem festen Bereich **20** angeordneten festen Lagerbereich **23** und einen auf dem drehbaren Körper **21** angeordneten drehbaren Lagerbereich **24** auf.

[0049] Der feste Abschnitt **20** weist einen ringförmigen Kühlbehälter **25** auf, der zentral um dessen

Senkrechtachse herum angeordnet ist. Der feste Lagerbereich **23** befindet sich an einem äußeren Umfangsabschnitt im Innern des Behälters **25**.

[0050] Der feste Lagerbereich **23** umfasst eine Supraleiter-Einheit **26** in Form eines Hohlzylinders, der konzentrisch am äußeren Umfangsabschnitt im Innern des Behälters **25** angebracht ist. Die Supraleiter-Einheit **26** weist eine Anzahl von in Umfangsrichtung geteilten Supraleiter-Teilen **27** auf, die jedoch nicht im Einzelnen dargestellt sind. Jedes dieser Supraleiter-Teile umfasst einen Supraleiter der zweiten Art, in dem feine normal leitende Teilchen gleichmäßig angeordnet sind. Bei der hier beschriebenen Ausführungsform bestehen die Supraleiter-Teile **27** aus einem Supraleiter auf Yttrium-Basis, d. h. Yttrium 123 ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$), in dem normal leitende Teilchen auf Yttrium-Basis, d. h. Yttrium 211 (Y_2BaCu) gleichmäßig verteilt angeordnet sind.

[0051] Der Behälter **25** ist über eine Kühlmedium-Zuführleitung **46** und eine Kühlmedium-Abführleitung **47** mit einer nicht dargestellten geeigneten Kühleinrichtung verbunden. Ein Kühlmedium wie beispielsweise Flüssigstickstoff wird von der Kühleinrichtung durch den Behälter **25** umgewälzt, wobei die Supraleiter-Einheit **26** durch das im Behälter **25** eingefüllte Kühlmedium gekühlt wird.

[0052] Der drehbare Körper **21** umfasst einen über dem mit diesem konzentrischen festen Abschnitt **20** angeordneten senkrechten Wellenbereich **21a**, einen am unteren Ende des Wellenbereichs **21a** konzentrisch mit diesem angebrachten Scheibenbereich **21b** und einen an der Unterseite des Scheibenbereichs **21b** konzentrisch mit diesem angeordneten hohlzylindrischen Tragbereich **21c**. Der drehbare Lagerbereich **24** ist auf dem inneren Umfangbereich des zylindrischen Bereichs **21c** vorgesehen.

[0053] Der drehbare Lagerbereich **24** umfasst zwei hohlzylindrische Dauermagneteinheiten **28**, **29** und drei hohlzylindrische Joche **30**, die der Supraleiter-Einheit **26** gegenüberliegend sowie von dieser radial nach außen verlaufend und im geringen Abstand hiervon angeordnet sind. Die beiden Magneteinheiten **28**, **29** sind in axialer Richtung der Einheit **26** Seite an Seite (nach oben und unten) montiert. Die Joche **30** sind den gegenüberliegenden oberen und unteren Endflächen der oberen und unteren Magneteinheiten **28**, **29**, der oberen Endfläche der oberen Magneteinheit **28** und der unteren Endfläche der unteren Magneteinheit **29** benachbart angeordnet. Jede Magneteinheit **28**, **29** ist an ihren oberen und unteren Enden mit Magnetpolen versehen, wobei die benachbarten Enden der beiden Magneteinheiten **28**, **29** die gleiche Polarität aufweisen. Bei der hier beschriebenen Ausführungsform ist die obere Magneteinheit **28** an ihrem oberen Ende mit einem N-Pol und an ihrem unteren Ende mit einem S-Pol versehen, während die

untere Magneteinheit **29** einen S-Pol am oberen und einen N-Pol am unteren Ende aufweist.

[0054] Der drehbare Lagerbereich **24** ist im Einzelnen in **Fig. 4** und **Fig. 5** dargestellt. **Fig. 4** ist eine teilweise weggebrochen gezeichnete Teil-Perspektivansicht des drehbaren Lagerbereichs **24** und **Fig. 5** eine teilweise weggebrochen gezeichnete Teil-Perspektivansicht, welche den Lagerbereich **24** im zerlegten Zustand zeigt.

[0055] Jedes der Joche **30** umfasst eine Anzahl von Jochelementen **32** aus einem magnetischen Material, die jeweils die Form einer Scheibe mit Loch aufweisen und in axialer Richtung des Lagers in übereinanderliegenden Schichten mit einer Isolierschicht **32** zwischen jedem benachbarten Paar von Jochelementen **32** angeordnet sind. Jedes der Jochelemente **32** ist beispielsweise aus Siliziumstahlblech einstückig über den gesamten Umfang verlaufend ausgebildet. Das Jochelement **32** ist mit einer Isolierschicht auf jeweils seiner Ober- und Unterseite versehen, welche die Isolierschicht **31** bildet.

[0056] Jede Dauermagneteinheit **28** (**29**) weist eine Anzahl von Dauermagnetelementen **35** (**36**) jeweils in Form einer Scheibe mit Loch auf, die in axialer Richtung in übereinanderliegenden Schichten mit einer Isolierschicht zwischen jedem benachbarten Paar von Magnetelementen **35** (**36**) angeordnet sind. Jedes Magnetelement **35** (**36**) ist mit einer Isolierschicht auf seiner Ober- und Unterseite versehen, welche die Isolierschicht **33** (**34**) bildet.

[0057] Jedes der Dauermagnetelemente **35**, **36** kann einstückig über den gesamten Umfang verlaufend ausgebildet sein oder eine Anzahl geteilter kreisbogenförmiger Segmente umfassen, die in Umfangsrichtung angeordnet sind. Bei der hier beschriebenen Ausführungsform weist das Dauermagnetelement **35** (**36**) eine Anzahl von in Umfangsrichtung geteilten kreisbogenförmigen Segmenten **35a** (**36a**) auf.

[0058] Wie aus der **Fig. 5** ersichtlich, umfasst die obere Dauermagneteinheit **28** eine Anzahl von in Umfangsrichtung geteilten segmentartigen zylindrischen Blocks **37**. Jeder Block **37** weist eine Anzahl von kreisbogenförmigen Segmenten **35a**, die in axialer Richtung in übereinanderliegenden Schichten angeordnet sind auf. Jedes kreisbogenförmige Segment **35a** hat beispielsweise eine Dicke von ca. 0,5 mm nach oben oder unten. Auf die gesamten Ober- und Unterseiten des kreisbogenförmigen Segments **35a** ist eine isolierende Beschichtung aufgebracht, welche die Isolierschicht **33** bildet. Das kreisbogenförmige Segment **35a** ist an seinen jeweiligen Ober- und Unterseiten mit Magnetpolen ausgestattet, nämlich einem N-Pol an der Ober- und einem S-Pol an der Unterseite. Bei Anordnung dieser kreisbogenfö-

migen Segmente **35a** in übereinanderliegenden Schichten weist der Block **37** als Ganzes einen N-Pol an seinem oberen und einen S-Pol an seinem unteren Ende auf. Die Dauermagneteinheit **28** wird durch Anordnen einer Anzahl von Blocks **37** in Umfangsrichtung zwischen den oberen und unteren Jochen **30** gebildet.

[0059] Die untere Dauermagneteinheit **29** umfasst ebenfalls eine Anzahl von segmentförmigen zylindrischen Blocks **38**, von denen jeder eine Anzahl von in der axialen Richtung in übereinanderliegenden Schichten angeordneten kreisbogenförmigen Segmenten **36a** aufweist. Im Falle der unteren Magneteinheit **29** ist das kreisbogenförmige Segment **36a** mit einem S-Pol an seiner Oberseite und einem N-Pol an seiner Unterseite versehen und weist der Block **38** als Ganzes einen S-Pol an seinem oberen und einen N-Pol an seinem unteren Ende auf. Abgesehen von diesen Merkmalen ist die untere Magneteinheit **29** gleich der oberen Magneteinheit **28**.

[0060] Bei dem vorbeschriebenen supraleitenden magnetischen Lager **22** durchdringen die von den Dauermagneteinheiten **28**, **29** aufgebauten Magnetfelder die Supraleiter-Einheit **26**, wenn sich diese in ihrem normal leitenden Zustand wie beispielsweise bei Umgebungs- bzw. Raumtemperatur befindet. Wird eine in diesem Zustand befindliche Supraleiter-Einheit **26** durch Kühlen in den Supraleitzustand überführt, so werden die die Supraleiter-Einheit **26** durchdringenden Magnetfelder an ihren Pinning-Punkten im Innern der Einheit **26** gefangen und wird der drehbare Lagerbereich **24** relativ zum festen Lagerbereich **23** in axialer und radialer Richtung durch den Pinning-Effekt berührungslos gelagert.

[0061] Zwar sind die Dauermagneteinheiten **28**, **29** in Umfangsrichtung in Blocks **37**, **38** unterteilt, doch machen die vorgesehenen Joche **30** die Magnetfelder der Einheiten **28**, **29** in der Umfangsrichtung gleichmäßig. Somit bleiben die Magnetfelder unter Ausschaltung von Rotationswiderstand selbst dann unverändert, wenn die Magnetfelder **28**, **29** mit dem drehbaren Körper **21** rotieren. Die in Umfangsrichtung gleichmäßigen Magnetfelder sind an den Pinning-Punkten der Supraleiter-Einheit **26** gefangen.

[0062] Da die Supraleiter-Einheit **26** in Umfangsrichtung in eine Anzahl von Supraleiter-Teilen **27** unterteilt ist, werden die von der Einheit **26** aufgebauten Magnetfelder in Umfangsrichtung wie vorbeschrieben ungleichmäßig und die Dauermagneteinheiten **28**, **29** sowie die Joche **30** beim Rotieren des drehbaren Lagerbereichs **24** mit dem drehbaren Körper **21** Magnetfeldschwankungen ausgesetzt. Da jedoch die Dauermagneteinheiten **28**, **29** zusammen mit dazwischen liegenden Isolierschichten **33**, **34** in Schichten übereinander angeordnet sind und weiter die Joche **30** zusammen mit Isolierschichten **31** ebenfalls in

übereinanderliegenden Schichten angeordnete Jochelemente aufweisen, werden die in den Magneteinheiten 28, 29 und den Jochen 30 erzeugten Wirbelströme und infolgedessen der Rotationsverlust verringert.

[0063] Fig. 6 zeigt eine Abwandlung der Dauermagneteinheit gemäß der ersten Ausführungsform.

[0064] Die dargestellte Dauermagneteinheit 40 umfasst eine Anzahl ringförmiger Dauermagnetelemente 41, die einen quadratischen oder rechteckigen Querschnitt aufweisen und in sowohl axialer als auch radialer Richtung in übereinanderliegenden Schichten angeordnet sind, wobei zwischen jedem benachbarten Paar von Magnetelementen eine Isolierschicht 42 vorgesehen ist.

[0065] Jedes Dauermagnetelement 41 kann in diesem Falle einstückig über den gesamten Umfang verlaufend ausgebildet sein oder eine Anzahl von in Umfangsrichtung geteilten kreisbogenförmigen Segmenten umfassen.

[0066] Fig. 7 bis Fig. 9 zeigen eine zweite Ausführungsform.

[0067] In Fig. 7 ist ein supraleitendes magnetisches Lager 52 in axialer Ausführung vorgesehen, in dem ein drehbarer Körper 51, nämlich ein relativ zu einem festen Bereich 50 drehbares Bauteil, berührungslos gelagert ist. Dieses supraleitende magnetische Lager 52 umfasst einen auf dem festen Bereich 50 angeordneten festen Lagerabschnitt 53 und einen auf dem drehbaren Körper 54 angeordneten drehbaren Lagerabschnitt 51.

[0068] Der feste Bereich 50 ist mit einem um seine senkrechte Achse herum mittig angeordneten ringförmigen Kühlbehälter 55 versehen. Der feste Lagerabschnitt 53 befindet sich in einem oberen Endabschnitt im Innern des Behälters 55.

[0069] Der feste Lagerabschnitt 53 umfasst eine Supraleiter-Einheit 56 in Form einer relativ dicken Scheibe mit Loch, die im oberen Endabschnitt in dem Behälter 55 konzentrisch mit diesem befestigt ist. Die Supraleiter-Einheit 56 weist eine Anzahl von in Umfangsrichtung geteilten Supraleiter-Teilen 57 auf, die nicht im Einzelnen dargestellt sind. Wie im Falle der ersten Ausführungsform auch umfassen die Supraleiter-Teile 57 einen Supraleiter der zweiten Art.

[0070] Der Behälter 55 ist über eine Kühlmedium-Zulaufleitung 48 und eine Kühlmedium-Ablaufleitung 49 mit einer nicht dargestellten geeigneten Kühlleinrichtung zum Kühlen der Supraleiter-Einheit 56 in gleicher Weise wie für die erste Ausführungsform beschrieben verbunden.

[0071] Der drehbare Körper 51 umfasst einen über dem festen Bereich 50 konzentrisch mit diesem angeordneten senkrechten Wellenbereich 51a sowie einen Tragscheibenbereich 51b, der am unteren Ende des Wellenabschnitts 51a konzentrisch mit diesem angebracht ist. Der drehbare Lagerbereich 54 ist um den Scheibenbereich 51b herum angeordnet.

[0072] Der drehbare Lagerbereich 54 weist zwei Dauermagneteinheiten 58, 59 sowie drei Joche 60 mit Anordnung gegenüber der Supraleiter-Einheit 56 auf deren axialer Oberseite sowie im geringem Abstand von dieser Einheit 56 auf. Die beiden Magneteinheiten 58, 59 sind in radialer Richtung zu dem drehbaren Körper 51 mit diesem konzentrisch angeordnet. Die Joche 60 sind den gegenüberliegenden äußeren und inneren Umfängen der entsprechenden inneren und äußeren Magneteinheiten 58, 59, dem inneren Umfang der inneren Magneteinheit 58 und dem äußeren Umfang der äußeren Magneteinheit 59 benachbart. Die Magneteinheiten 58, 59 weisen Magnetpole an ihren inneren und äußeren Umfangsoberflächen auf, wobei die benachbarten Oberflächen der beiden Einheiten 58, 59 gleiche Polarität besitzen. Bei der hier beschriebenen Ausführungsform sind die innere Magneteinheit 58 mit einem N-Pol auf ihrer inneren und einem S-Pol auf ihrer äußeren Umfangsoberfläche und die äußere Magneteinheit 59 mit einem S-Pol auf der inneren und einem N-Pol auf der äußeren Umfangsoberfläche versehen.

[0073] Der drehbare Lagerbereich 54 ist im Einzelnen in Fig. 8 und Fig. 9 dargestellt. Fig. 8 ist eine teilweise weggebrochen gezeichnete Teil-Perspektivansicht des drehbaren Lagerbereichs 54 und Fig. 9 eine teilweise weggebrochen gezeichnete Teil-Perspektivansicht, welche den drehbaren Lagerbereich 54 im zerlegten Zustand zeigt.

[0074] Jedes Joch 60 umfasst eine Anzahl von Jochelementen 62 aus einem magnetischen Material, die jeweils die Form eines Hohlzylinders aufweisen und in radialer Richtung in übereinanderliegenden Schichten mit einer Isolierschicht 61 zwischen jedem benachbarten Paar von Jochen 61 angeordnet sind. Jedes der Jochelemente 62 ist aus Siliziumstahlblech einstückig über den gesamten Umfang verlaufend ausgebildet. Das Jochelement 62 weist auf seiner inneren und äußeren Oberfläche eine Isolierbeschichtung auf, welche die Isolierschicht 61 bildet.

[0075] Jede Dauermagneteinheit 58 (59) besteht aus einer Anzahl von Dauermagnetelementen 65 (66) jeweils in Form eines Hohlzylinders, die in radialer Richtung in übereinanderliegenden Schichten mit einer Isolierschicht (64) zwischen jeden benachbarten Paar von Magnetelementen 65 (66) angeordnet sind. Jedes Magnetelement 65 (66) weist auf seiner inneren und äußeren Oberfläche eine Isolierbeschichtung auf, welche die Isolierschicht 63 (64) bil-

det.

[0076] Jedes der Dauermagnetelemente **65**, **66** kann einstückig über den gesamten Umfang verlaufend ausgebildet sein oder eine Anzahl von geteilten kreisbogenförmigen Segmenten aufweisen, die in Umfangsrichtung angeordnet sind. Bei der hier beschriebenen Ausführungsform umfasst das Dauermagnetelement **65** (**66**) eine Anzahl von in Umfangsrichtung geteilten kreisbogenförmigen Segmenten **65a** (**66a**).

[0077] Wie aus **Fig. 9** ersichtlich, umfasst die innere Dauermagneteinheit **58** eine Anzahl von in Umfangsrichtung geteilten segmentartigen zylindrischen Blocks **67**. Jeder der Blocks **67** weist eine Anzahl von kreisbogenförmigen Segmenten **65a** auf, die in radialer Richtung übereinanderliegend in Schichten angeordnet sind. Jedes kreisbogenförmige Segment **65a** ist beispielsweise nach innen oder außen etwa 0,5 mm dick und weist auf seiner entsprechenden inneren und äußeren Oberfläche Magnetpole auf, nämlich einen N-Pol auf der inneren und einen S-Pol auf der äußeren Oberfläche. Bei Anordnung der kreisbogenförmigen Segmente **65a** in übereinanderliegenden Schichten besitzt der Block **67** als Ganzes einen N-Pol auf seiner inneren und einen S-Pol auf seiner äußeren Oberfläche. Die Dauermagneteinheit **58** ist durch Anordnen einer Anzahl von Blocks **67** in Umfangsrichtung zwischen den inneren und äußeren Jochen **60** gebildet.

[0078] Die äußere Dauermagneteinheit **59** umfasst ebenfalls eine Anzahl segmentartiger zylindrischer Blocks **68** mit jeweils einer Anzahl kreisbogenförmiger Segmente **66a**, die in radialer Richtung in übereinanderliegenden Schichten angeordnet sind. Im Falle der äußeren Magneteinheit **59** weist das kreisbogenförmige Segment **66a** einen S-Pol auf seiner inneren und einen N-Pol auf seiner äußeren Oberfläche auf, während der Block **68** als Ganzes mit einem S-Pol an seinem inneren und einem N-Pol an seinem äußeren Ende versehen ist. Abgesehen von diesen Merkmalen ist die äußere Magneteinheit **59** gleich der inneren Magneteinheit **58**.

[0079] Eine Anzahl ringförmiger Verstärkungselemente **69** sind um den drehbaren Lagerbereich **54** herum konzentrisch mit diesem angeordnet, um ein Ausdehnen der Jochelemente **62** und der Dauermagnetelemente **65**, **66** aufgrund der durch hohe Rotationsgeschwindigkeit erzeugten Zentrifugalkraft und ein hieraus resultierendes Zubruchgehen dieser Elemente **62**, **65**, **66** zu verhindern. Die Verstärkungselemente **69** sind beispielsweise aus kohlefaserverstärktem Kunststoff (CFRP) hergestellt.

[0080] Bei dem vorbeschriebenen supraleitenden magnetischen Lager **52** durchdringen die von den Dauermagneteinheiten **58** aufgebauten Magnetfelder

in die Supraleiter-Einheit **56** ein, wenn sich diese im normal leitenden Zustand wie beispielsweise bei Umgebungs- bzw. Raumtemperatur befindet. Die in diesem Zustand befindliche Supraleiter-Einheit **56** wird durch Kühlen in den Supraleitzustand überführt, wobei die die Supraleiter-Einheit **56** durchdringenden Magnetfelder an den Pinning-Punkten im Innern der Einheit **56** gefangen werden und der drehbare Lagerbereich **54** relativ zum festen Lagerbereich **53** aufgrund dieses Pinning-Effekts in der axialen und radialen Richtung berührungslos gelagert wird.

[0081] Wenngleich die Dauermagneteinheiten **58**, **59** in Umfangsrichtung in Blocks **67**, **68** geteilt sind, machen die vorgesehenen Joche **60** die Magnetfelder der Einheiten **58**, **59** in Umfangsrichtung im Wesentlichen gleichmäßig. Somit bleiben die Magnetfelder selbst dann unverändert und wird ein Rotationsverlust vermieden, wenn die Magneteinheiten **58**, **59** mit dem drehbaren Körper **51** rotieren. Die in Umfangsrichtung gleichmäßigen Magnetfelder werden an den Pinning-Punkten der Supraleiter-Einheit **56** gefangen.

[0082] Da die Supraleiter-Einheit **56** in Umfangsrichtung in eine Anzahl von Supraleiter-Teilen **57** unterteilt ist, werden die von dieser Einheit **56** aufgebauten Magnetfelder wie vorbeschrieben in Umfangsrichtung ungleichmäßig und die Dauermagneteinheiten **58**, **59** sowie die Joche **60** beim Drehen mit dem drehbaren Körper **51** Magnetfeldänderungen ausgesetzt. Weil aber die Dauermagneteinheiten **58**, **59** Dauermagnetelemente **65**, **66** aufweisen, die zusammen mit dazwischen liegenden Isolierschichten **63**, **64** in übereinanderliegenden Schichten angeordnet sind, und weil außerdem die Joche **60** ebenfalls Jochelemente **62** umfassen, die zusammen mit Isolierschichten **61** in übereinander liegenden Schichten vorgesehen sind, werden in den Magneteinheiten **58**, **59** und Jochen **60** erzeugte Wirbelströme und damit Rotationsverluste reduziert.

[0083] Die Dauermagneteinheit **58**, **59** der zweiten Ausführungsform umfasst eine Anzahl von ringförmigen Dauermagnetelementen von quadratischem oder rechteckigem Querschnitt, die in axialer und radialer Richtung in übereinanderliegenden Schichten angeordnet und zwischen jedem benachbarten Magnetelementenpaar mit einer dazwischen liegenden Isolierschicht versehen sind. Jedes Dauermagnetelement kann in diesem Falle einstückig über den gesamten Umfang verlaufend ausgebildet sein oder eine Anzahl von in Umfangsrichtung geteilten kreisbogenförmigen Segmenten aufweisen.

Industrielle Verwendbarkeit

[0084] Wie vorbeschrieben wird erfindungsgemäß ein zweckmäßiges supraleitendes magnetisches Lager für die berührungslose Lagerung eines drehba-

ren Bereichs relativ zu einem festen Bereich durch Heranziehen des Pinning-Effekts eines Supraleiters der zweiten Art bereitgestellt. In Dauermagneteinheiten und Jochen aufgrund der Bildung ungleichmäßiger Magnetfelder durch einen Supraleiter erzeugte Wirbelströme werden reduziert, wodurch Rotationsverluste verringert werden.

Patentansprüche

1. Supraleitendes magnetisches Lager, mit einem stationären Lagerbereich (23, 53) mit einer ringförmigen Supraleiter-Einheit (26, 56), die auf einem festen Bereich angebracht ist, und einem drehbaren Lagerbereich (24, 54) mit einer ringförmigen Dauermagneteinheit (28, 29, 58, 59, 40), die auf einem drehbaren Bereich der Supraleiter-Einheit gegenüberliegend angeordnet ist, welcher drehbare Bereich gegenüber dem festen Bereich berührungslos durch den Pinning-Effekt eines Supraleiters gelagert wird, der die Supraleiter-Einheit bildet, welche Supraleiter-Einheit eine Anzahl von in Umfangsrichtung geteilten Supraleiter-Teilen (27, 57) umfasst, welches supraleitende magnetische Lager **dadurch gekennzeichnet** ist, dass die Dauermagneteinheit eine Anzahl von Dauermagnetelementen (35, 36, 65, 66, 41) umfasst, die in aufeinanderliegenden Schichten angeordnet sind, wobei eine elektrisch isolierende Schicht (33, 34, 63, 64, 42) zwischen jedem benachbarten Paar von Magnetelementen vorgesehen ist.

2. Supraleitendes magnetisches Lager gemäss Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der drehbare Lagerbereich (24, 54) die ringförmige Dauermagneteinheit (28, 29, 58, 59, 40) und ein ringförmiges Joch (30, 60) umfasst, das zu der Dauermagneteinheit benachbart ist und der Supraleiter-Einheit gegenüber liegt, welches Joch eine Anzahl von Jochelementen (32, 62) aus einem magnetischen Material umfasst, die in aufeinander liegenden Schichten angeordnet sind, wobei zwischen einem benachbarten Paar von Jochelementen eine isolierende Schicht (31, 61) einliegt.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Fig. 1

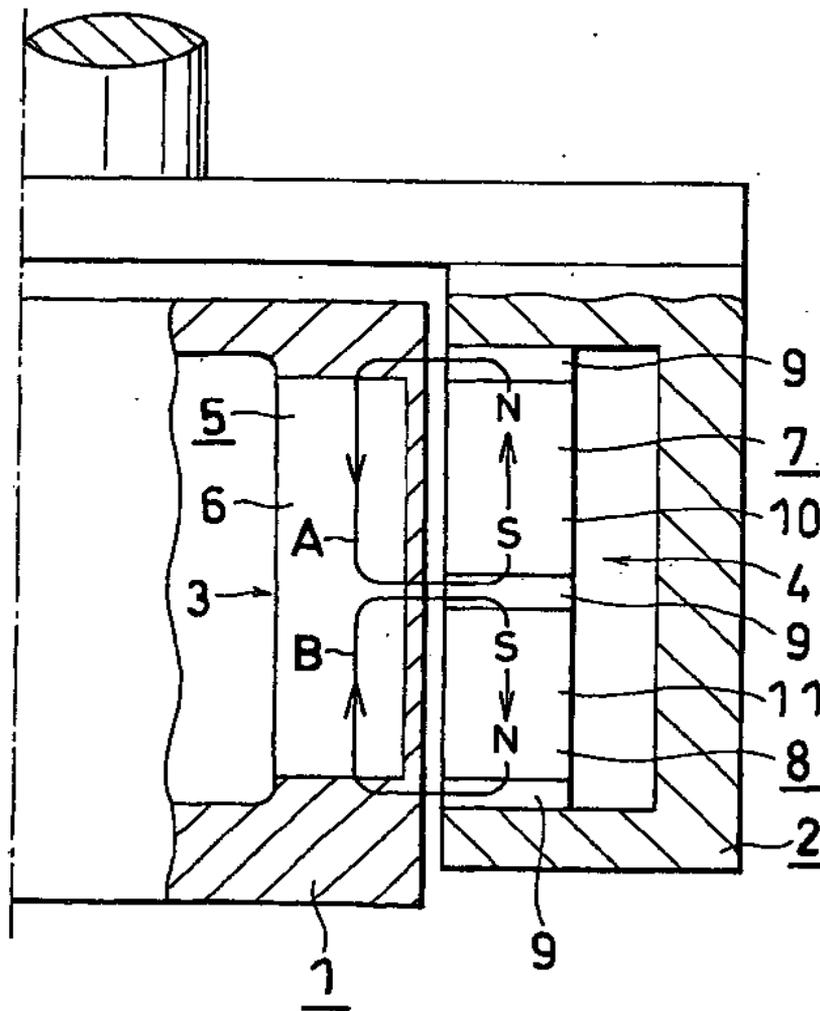
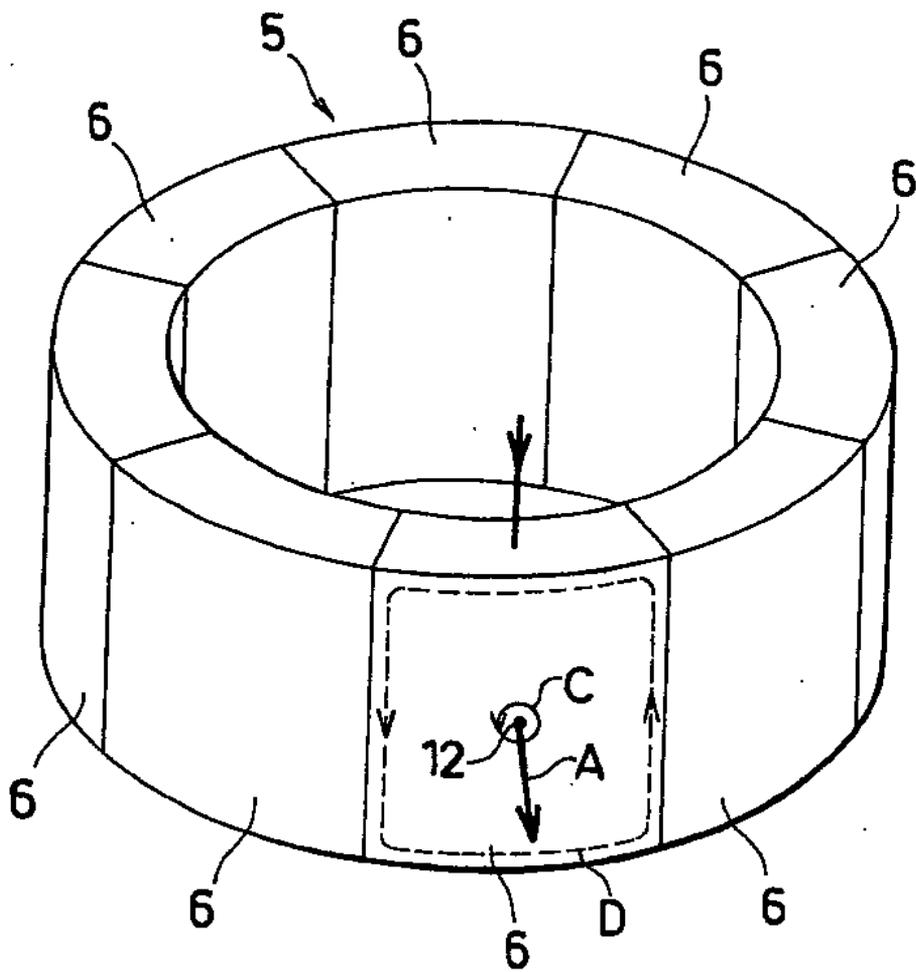


Fig. 2



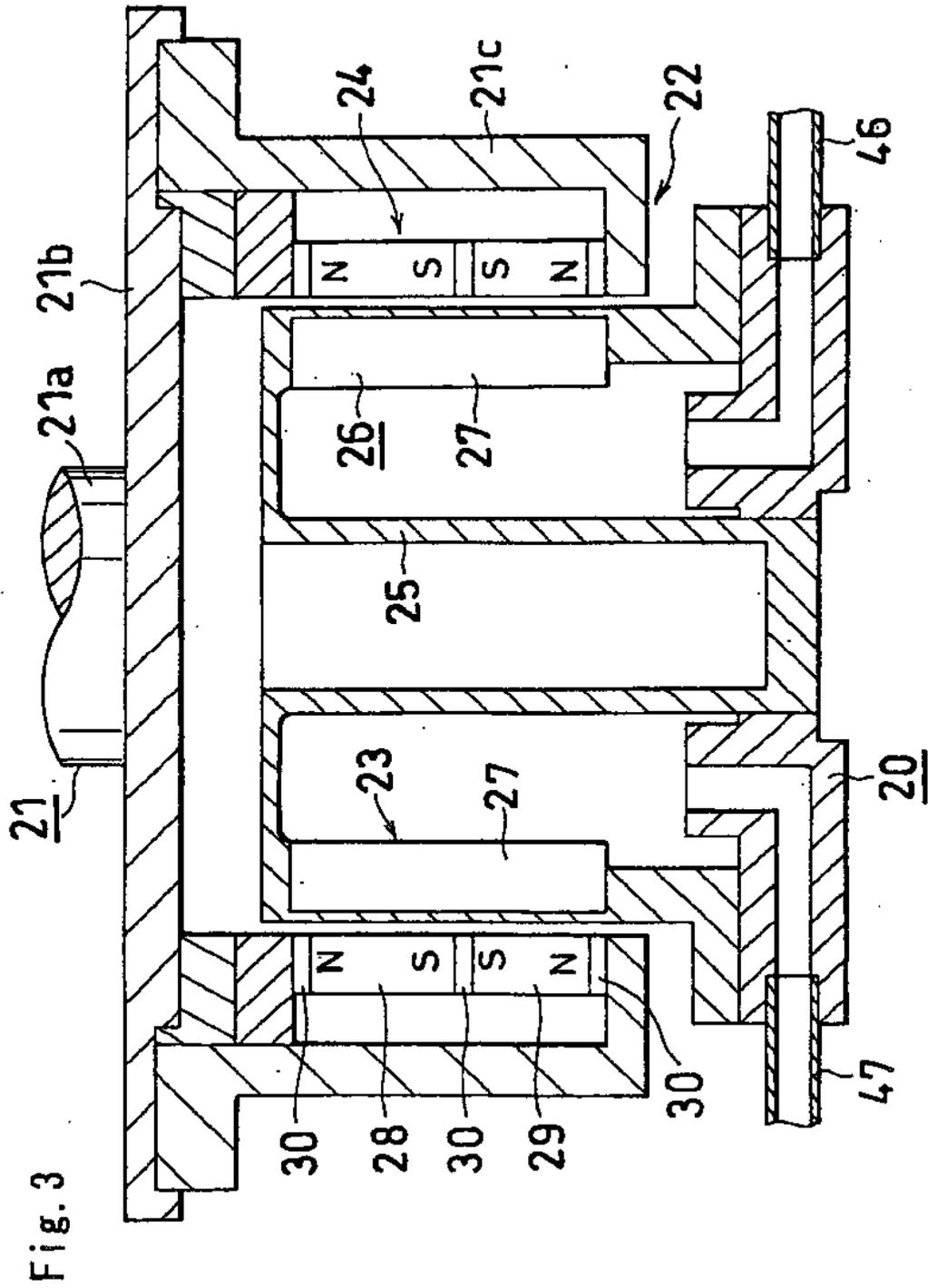


Fig. 5

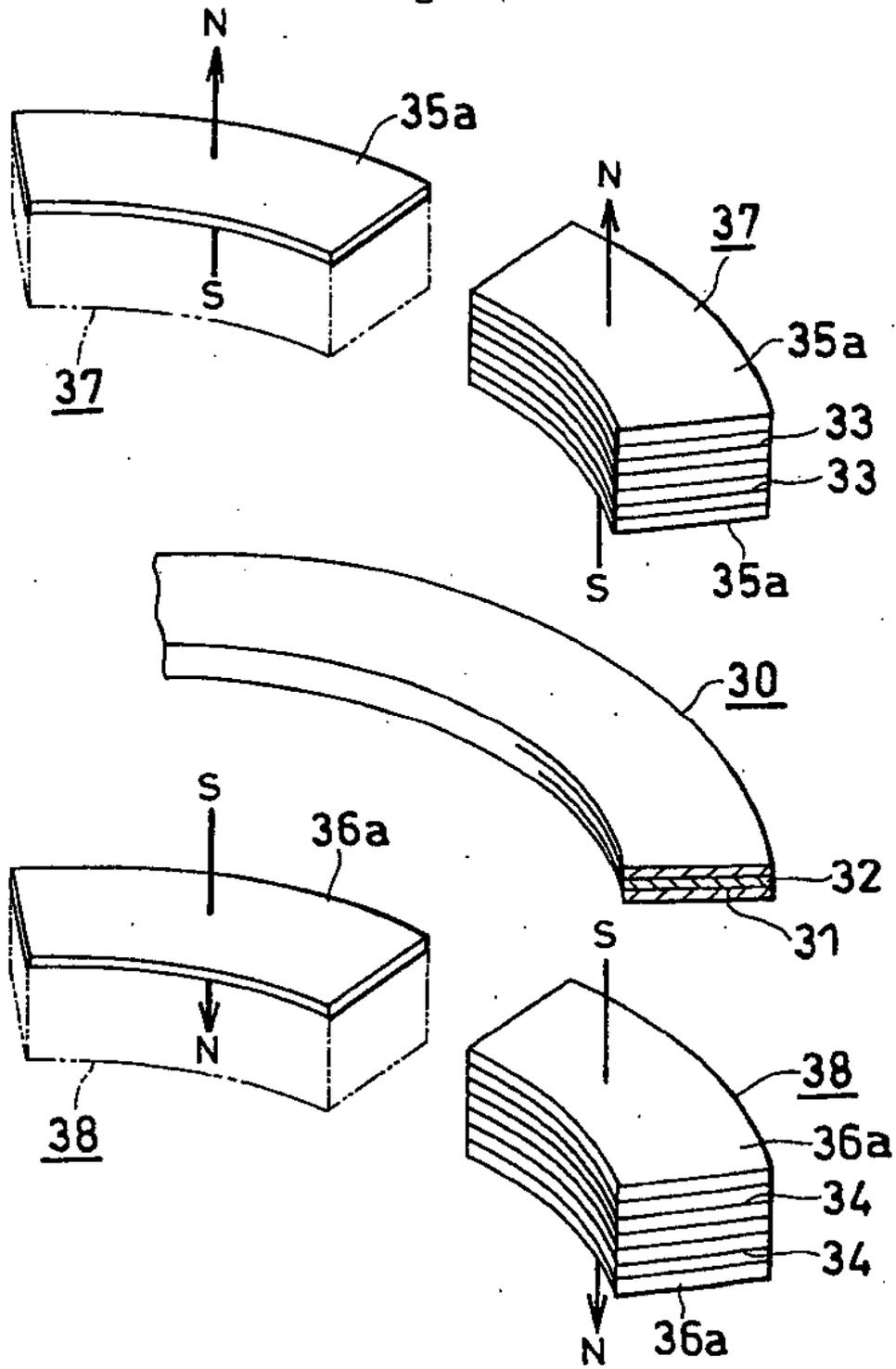


Fig. 6

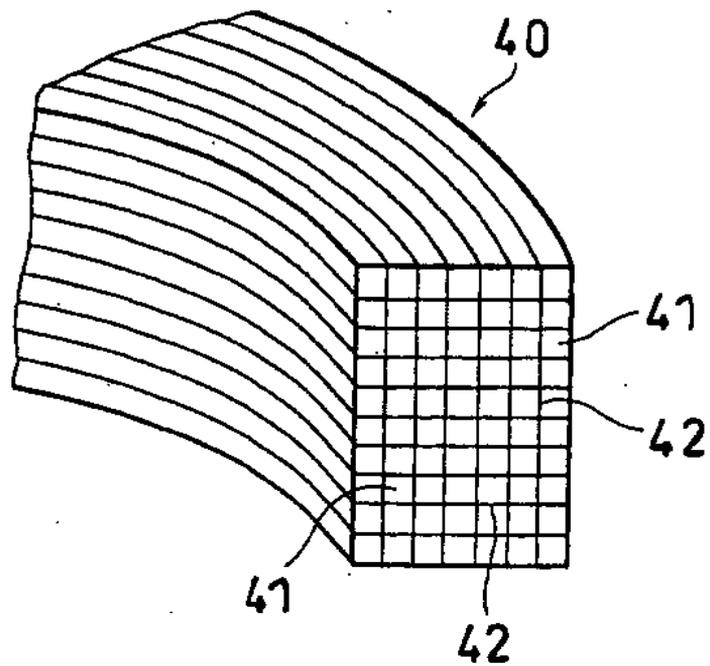


Fig. 8

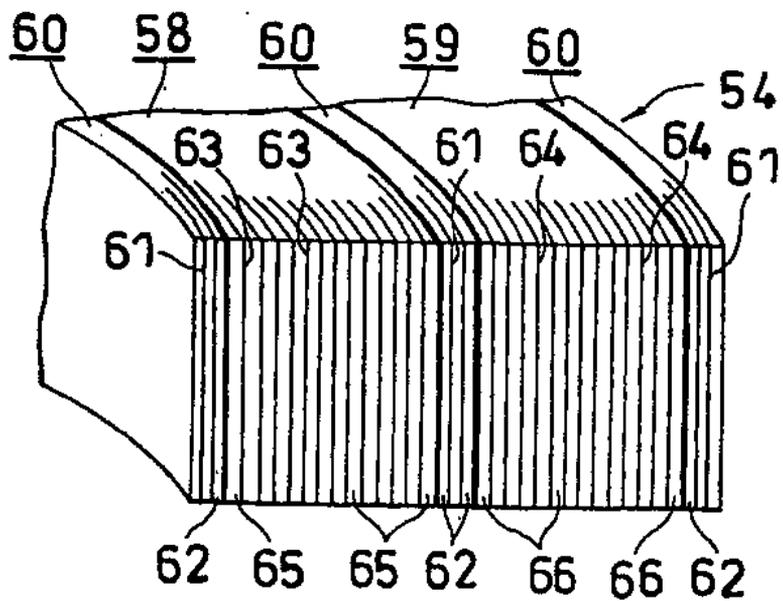


Fig. 7

