



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

22 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 101 04 698 A 1**

51 Int. Cl. 7:
F 16 C 32/04

21 Aktenzeichen: 101 04 698.7
22 Anmeldetag: 2. 2. 2001
43 Offenlegungstag: 8. 8. 2002

DE 101 04 698 A 1

71 Anmelder:
ALSTOM (Switzerland) Ltd., Baden, CH
74 Vertreter:
Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241
München

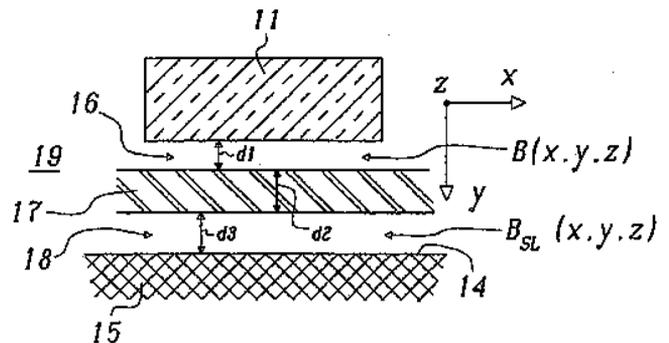
72 Erfinder:
Lorenzen, Hans Werner, Prof. Dr., 81247 München,
DE; Schafer, Daniel, Niederörsz, CG; Zickermann,
Richard, 80807 München, DE

66 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:
US 55 57 155
US 54 48 213
US 40 72 370
EP 08 29 655 A1
WO 93 16 294 A1
JP Patent Abstracts of Japan:
08177856 A;
11315836 A;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Magnetisches Traglager sowie Verfahren zum Herstellen eines solchen Traglagers

57 Ein magnetisches Traglager (19) umfasst eine supraleitende Schicht (15) mit einer Oberfläche (14) sowie einen aktiven Magneten (11), welcher durch einen Zwischenraum (12) getrennt oberhalb der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) angeordnet ist. Bei einem solchen Traglager werden die Lagereigenschaften dadurch verbessert, dass zur Homogenisierung des vom aktiven Magneten (11) erzeugten magnetischen Feldes (13) an der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) im Zwischenraum (12) zwischen dem aktiven Magneten (11) und der Oberfläche (14) eine das magnetische Feld beeinflussende Homogenisierungsschicht (17) angeordnet ist. Ein solches Traglager eignet sich insbesondere für die Anwendung in Wasserkraftgeneratoren.



DE 101 04 698 A 1

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der magnetischen Lagerung. Sie betrifft ein magnetisches Traglager gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs.

[0002] Ein solches Traglager ist z. B. aus der Druckschrift US-A-5,557,155 bekannt.

[0003] Die Erfindung betrifft weiterhin ein Verfahren zum Herstellen eines solchen Traglagers.

STAND DER TECHNIK

[0004] In der Vergangenheit sind zur berührungsfreien magnetischen Lagerung von bewegten, insbesondere rotierenden Teilen die unterschiedlichsten Lösungsvorschläge gemacht worden. Eine Standardkonfiguration eines solchen magnetischen Traglagers **10** – wie sie in **Fig. 1** dargestellt ist – umfasst einen oder mehrere aktive Magneten **11**, insbesondere Permanentmagneten, die in einem vorbestimmten Abstand, d. h., mit einem Zwischenraum **12**, über der Oberfläche **14** einer supraleitenden Schicht **15** gehalten werden. Die aktiven Magnete sind dabei in der Regel dem zu lagernden Teil zugeordnet. Das vom aktiven Magneten **11** erzeugte magnetische Feld $B(x, y, z)$ wird aus der supraleitenden Schicht **15** verdrängt (Supraleiter 1. Art) oder vermag teilweise einzudringen (Supraleiter 2. Art). Die Folge ist eine abstossende Wirkung auf den aktiven Magneten **11**, in dem eine mechanische Spannung $\sigma(x, y, z)$ in vertikaler Richtung entsteht.

[0005] Beim magnetischen Traglager **10** kommt es darauf an, dass das magnetische Feld $B_{SL}(x, y, z)$ des aktiven Magneten **11** an der Oberfläche **14** der supraleitenden Schicht **15** möglichst homogen verläuft, damit bei einer Bewegung des aktiven Magneten **11** relativ zur supraleitenden Schicht **15** ein ruhiger Lauf gewährleistet ist und keine störenden Rastmomente zu überwinden sind. Durch die magnetischen Eigenschaften des aktiven Magneten **11** ergibt sich an der Oberfläche **14** der supraleitenden Schicht **15** jedoch eine Verteilung $B_{SL}(x, y, z)$ des magnetischen Feldes **13**, die aus unterschiedlichen Gründen meist inhomogen ist (in **Fig. 1** angedeutet durch die unterschiedlich langen Pfeile).

[0006] Es ist bereits in der eingangs genannten Druckschrift wie auch in der US-A-4,072,370 – die sich mit einer magnetischen Lagerung ohne Supraleiter beschäftigt – darauf hingewiesen worden, dass Inhomogenitäten in der Verteilung der magnetischen Induktion im Lager zu Verlusten führen und aufgrund von Rastmomenten die Laufruhe des gelagerten Teils beeinträchtigen können.

[0007] In der US-A-4,072,370 wird zur Homogenisierung der Verteilung des magnetischen Feldes vorgeschlagen, die aktiven Magnete in geeigneter Weise aus einer Kombination von radialen und axialen Teilmagneten sowie Eisenringen zusammenzusetzen. In der US-A-5,557,155 wird demgegenüber u. a. vorgeschlagen, den Supraleiter, der dem aktiven Magneten gegenüberliegt, nach Art einer Mauer aus einzelnen (überlappenden) Bausteinen aufzubauen, um Inhomogenitäten im magnetischen Feld zu verringern oder ganz zu beseitigen. In beiden Fällen besteht der wesentliche Nachteil darin, dass die mit Permanentmagneten bzw. Supraleitern ausgestatteten Lagerstrukturen nur mit hohem Aufwand durch Zusammenstellung aus einzelnen Teilelementen so ausgebildet und angepasst werden können, dass die magnetische Feldverteilung homogenisiert wird. Dies gilt insbesondere dann, wenn als Supraleiter Hochtemperatursupraleiter verwendet werden.

[0008] Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein magnetisches Traglager zu schaffen, welches ohne Eingriff in die magnetischen bzw. supraleitenden Lagerstrukturen eine vereinfachte und zugleich sehr präzise Homogenisierung der Verteilung des magnetischen Feldes ermöglicht, sowie ein Verfahren zur Herstellung eines solchen Traglagers anzugeben.

[0009] Die Aufgabe wird durch die Gesamtheit der Merkmale der Ansprüche 1 und 9 gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, zur Homogenisierung eine separate Homogenisierungsschicht zwischen dem aktiven Magneten und der supraleitenden Schicht vorzusehen, welche die Verteilung des magnetischen Feldes ortsabhängig beeinflusst, und die für sich genommen bearbeitet bzw. an die Verhältnisse so angepasst werden kann, dass homogene Feldverhältnisse erreicht werden. Da eine von den übrigen Lagerstrukturen unabhängige Bearbeitung der Homogenisierungsschicht ausreicht, kann ein solches Traglager besonders einfach dadurch hergestellt werden, dass in einem ersten Schritt die inhomogene Verteilung des magnetischen Feldes an der Oberfläche der supraleitenden Schicht ausgemessen wird, und dass in einem zweiten Schritt die Homogenisierungsschicht nach Massgabe der gemessenen Verteilung so ausgestaltet wird, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten erzeugten magnetischen Feld an der Oberfläche der supraleitenden Schicht kompensiert werden.

[0010] Der aktive Magnet umfasst dabei vorzugsweise wenigstens einen Permanentmagneten. Es ist aber auch denkbar, dass der aktive Magnet einen Elektromagneten umfasst.

[0011] Das erfindungsgemässe magnetische Traglager eignet sich wegen seiner hervorragenden Eigenschaften besonders gut für den Einsatz als Traglager von Wasserkraftgeneratoren. Während bis anhin Traglager mit Durchmessern von weniger als 300 mm und bescheidenen Tragkräften von einigen kN bekannt sind, lassen sich mit der Erfindung für die Anwendung in Wasserkraftgeneratoren Traglager mit einem Durchmesser von mehr als einem Meter und Tragkräften in der Grössenordnung von 100 t bis zu 6000 t verwirklichen.

[0012] Gemäss einer ersten bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung weist die Homogenisierungsschicht eine ortsabhängige relative magnetische Permeabilität μ_r aufweist, derart, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten erzeugten magnetischen Feld an der Oberfläche der supraleitenden Schicht kompensiert werden. Dies kann beispielsweise durch eine ortsabhängige Dichte oder Materialzusammensetzung der Homogenisierungsschicht erreicht werden. Eine solche ortsabhängige magnetische Permeabilität lässt sich besonders einfach dadurch erreichen, dass die Homogenisierungsschicht aus unterschiedlichen horizontalen und/oder vertikalen Teilschichten aufgebaut ist.

[0013] Eine andere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Homogenisierungsschicht und dem aktiven Magneten ein erster Luftspalt vorhanden ist, und dass der erste Luftspalt eine ortsabhängige Dicke d_1 aufweist, derart, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten erzeugten magnetischen Feld an der Oberfläche der supraleitenden Schicht kompensiert werden.

[0014] Ebenso ist es denkbar, dass zwischen der Homogenisierungsschicht und der Oberfläche der supraleitenden Schicht ein zweiter Luftspalt vorhanden ist, und dass der zweite Luftspalt eine ortsabhängige Dicke d_3 aufweist, derart, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten erzeugten magnetischen Feld an der Oberfläche der supra-

leitenden Schicht kompensiert werden.

[0015] Weiterhin ist es möglich, dass die Homogenisierungsschicht eine ortsabhängige Dicke d_2 aufweist, derart, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten erzeugten magnetischen Feld an der Oberfläche der supraleitenden Schicht kompensiert werden.

[0016] Schliesslich können die verschiedenen Möglichkeiten der ortsabhängigen Ausgestaltung der Homogenisierungsschicht auch in beliebiger Weise miteinander kombiniert werden.

KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

[0017] Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen

[0018] Fig. 1 in einer schematisierten Darstellung den Aufbau eines herkömmlichen magnetischen Traglagers mit einem aktiven Magneten und einer gegenüberliegenden supraleitenden Schicht;

[0019] Fig. 2 in einer zu Fig. 1 vergleichbaren Darstellung ein erstes bevorzugtes Ausführungsbeispiel für ein magnetisches Traglager nach der Erfindung mit einer Homogenisierungsschicht mit ortsabhängiger relativer Permeabilität;

[0020] Fig. 3 in einer zu Fig. 1 vergleichbaren Darstellung ein zweites bevorzugtes Ausführungsbeispiel für ein magnetisches Traglager nach der Erfindung mit einer aus unterschiedlichen horizontalen Teilschichten aufgebauten Homogenisierungsschicht;

[0021] Fig. 4 in einer zu Fig. 1 vergleichbaren Darstellung ein drittes bevorzugtes Ausführungsbeispiel für ein magnetisches Traglager nach der Erfindung mit einer aus unterschiedlichen vertikalen Teilschichten aufgebauten Homogenisierungsschicht;

[0022] Fig. 5 in einer zu Fig. 1 vergleichbaren Darstellung ein viertes bevorzugtes Ausführungsbeispiel für ein magnetisches Traglager nach der Erfindung mit einer ortsabhängigen Dicke des Luftspaltes zwischen dem aktiven Magneten und der Homogenisierungsschicht; und

[0023] Fig. 6 in einer zu Fig. 1 vergleichbaren Darstellung ein fünftes bevorzugtes Ausführungsbeispiel für ein magnetisches Traglager nach der Erfindung mit einer ortsabhängigen Dicke des Luftspaltes zwischen der supraleitenden Schicht und der Homogenisierungsschicht.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0024] In Fig. 2 ist in einer zu Fig. 1 vergleichbaren Darstellung ein erstes bevorzugtes Ausführungsbeispiel für ein magnetisches Traglager **19** nach der Erfindung wiedergegeben. Die in Fig. 2 dargestellte Konfiguration ist zugleich die auch für die weiteren Ausführungsbeispiele gültige Grundkonfiguration. In ihr ist im Zwischenraum zwischen dem aktiven Magneten **11** und der supraleitenden Schicht **15** eine Homogenisierungsschicht **17** der Dicke d_2 angeordnet. Im allgemeinen Fall bildet sich zwischen der Homogenisierungsschicht **17** und dem aktiven Magneten **11** ein erster Luftspalt **16** der Dicke d_1 , und zwischen der Homogenisierungsschicht **17** und der supraleitenden Schicht **15** ein zweiter Luftspalt **18** der Dicke d_3 . Die Dicken der Luftspalte **16**, **18** können im Extremfall aber auch einzeln oder zusammen gegen Null gehen.

[0025] Der aktive Magnet **11** erzeugt eine (inhomogene) magnetische Feldverteilung $B(x, y, z)$, die durch die Homogenisierungsschicht **19** so beeinflusst wird, dass die hinter der Schicht im zweiten Luftspalt **18** auftretende magnetische Feldverteilung $B_{SL}(x, y, z)$ an der Oberfläche **14** der supraleitenden Schicht **15** praktisch homogen ist. Hierzu

wird gemäss dem Ausführungsbeispiel eine Homogenisierungsschicht **17** eingesetzt, die ein ortsabhängige relative Permeabilität $\mu_r(x, y, z)$ aufweist, die so ausgelegt ist, dass sie die Inhomogenitäten in der Feldverteilung $B(x, y, z)$ gerade kompensiert. Dies kann beispielsweise durch eine (kontinuierlich variierende) ortsabhängige Dichte oder Materialzusammensetzung der Homogenisierungsschicht **17** erreicht werden.

[0026] Es ist aber für viele Anwendungsfälle ausreichend und in der Herstellung wesentlich einfacher, wenn die Homogenisierungsschicht **17** diskontinuierlich bzw. abschnittsweise sich ändernde magnetische Eigenschaften aufweist. Gemäss dem in Fig. 3 dargestellten Ausführungsbeispiel wird dies erreicht durch einen Aufbau der Homogenisierungsschicht **17** aus einzelnen horizontalen Teilschichten **20**, **21** mit unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften. Gemäss dem in Fig. 4 dargestellten Ausführungsbeispiel wird dies erreicht durch einen Aufbau der Homogenisierungsschicht **17** aus einzelnen vertikalen Teilschichten **22**, **23** mit unterschiedlichen magnetischen Eigenschaften. Es versteht sich von selbst, dass im Rahmen der Erfindung vertikalen und horizontale Teilschichten auch miteinander kombiniert werden können.

[0027] Weitere Möglichkeiten der Ausgestaltung der Homogenisierungsschicht **17** sind in den Ausführungsbeispielen der Fig. 5 und 6 verwirklicht. In Fig. 5 wird die dem aktiven Magneten **11** zugewandte Oberfläche der Homogenisierungsschicht **17** so bearbeitet, dass sich eine ortsabhängige Dicke $d_1(x, z)$ des ersten Luftspaltes **16** ergibt. Hierdurch kann bei ansonsten homogenem Schichtmaterial eine ortsabhängige Beeinflussung des Magnetfeldes erreicht werden. Dasselbe gilt für eine ortsabhängige Dicke $d_3(x, z)$ des zweiten Luftspaltes **18** gemäss Fig. 6, die durch eine entsprechende Bearbeitung der anderen Oberfläche der Homogenisierungsschicht **17** herbeigeführt wird. In direktem Zusammenhang mit einer ortsabhängigen Dicke der Luftspalte **16**, **18** steht die ortsabhängige Dicke $d_2(x, z)$ der Homogenisierungsschicht **17**, die ebenfalls zur Homogenisierung herangezogen werden kann.

[0028] Die Herstellung der Homogenisierungsschicht **17** erfolgt erfindungsgemäss dadurch, dass in einem ersten Schritt mittels einer geeigneten Messeinrichtung die inhomogene Verteilung des magnetischen Feldes an der Oberfläche **14** der supraleitenden Schicht **15** ausgemessen wird, und dass in einem zweiten Schritt die Homogenisierungsschicht **17** nach Massgabe der gemessenen Verteilung und unter Berücksichtigung der magnetischen Eigenschaften des verwendeten Materials so hergestellt oder bearbeitet wird, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten **11** erzeugten magnetischen Feld **13** an der Oberfläche **14** der supraleitenden Schicht **15** kompensiert werden.

BEZUGSZEICHENLISTE

- 10, 19** magnetisches Traglager
- 11** aktiver Magnet (z. B. Permanentmagnet)
- 12** Zwischenraum
- 13** magnetisches Feld (SL-Oberfläche)
- 14** Oberfläche (SL-Schicht)
- 15** supraleitende Schicht
- 16, 18** Luftspalt
- 17** Homogenisierungsschicht
- 20, 21** Teilschicht (horizontal)
- 22, 23** Teilschicht (vertikal)
- d_1, \dots, d_3 Dicke

1. Magnetisches Traglager (19), umfassend eine supraleitende Schicht (15) mit einer Oberfläche (14) sowie einen aktiven Magneten (11), welcher durch einen Zwischenraum (12) getrennt oberhalb der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) angeordnet ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Homogenisierung des vom aktiven Magneten (11) erzeugten magnetischen Feldes (13) an der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) im Zwischenraum (12) zwischen dem aktiven Magneten (11) und der Oberfläche (14) eine das magnetische Feld beeinflussende Homogenisierungsschicht (17) angeordnet ist. 5
2. Magnetisches Traglager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der aktive Magnet (11) wenigstens einen Permanentmagneten umfasst. 10
3. Magnetisches Traglager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der aktive Magnet (11) einen Elektromagneten umfasst. 15
4. Magnetisches Traglager nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Homogenisierungsschicht (17) eine ortsabhängige relative magnetische Permeabilität $\mu_r(x, y, z)$ aufweist, derart, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten (11) erzeugten magnetischen Feld (13) an der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) kompensiert werden. 20
5. Magnetisches Traglager nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Homogenisierungsschicht (17) aus unterschiedlichen horizontalen und/oder vertikalen Teilschichten (20, ..,23) aufgebaut ist. 25
6. Magnetisches Traglager nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Homogenisierungsschicht (17) und dem aktiven Magneten (11) ein erster Luftspalt (16) vorhanden ist, und dass der erste Luftspalt (16) eine ortsabhängige Dicke $d1(x, z)$ aufweist, derart, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten (11) erzeugten magnetischen Feld (13) an der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) kompensiert werden. 30
7. Magnetisches Traglager nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Homogenisierungsschicht (17) und der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) ein zweiter Luftspalt (18) vorhanden ist, und dass der zweite Luftspalt (18) eine ortsabhängige Dicke $d3(x, z)$ aufweist, derart, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten (11) erzeugten magnetischen Feld (13) an der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) kompensiert werden. 35
8. Magnetisches Traglager nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Homogenisierungsschicht (17) eine ortsabhängige Dicke $d2(x, z)$ aufweist, derart, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten (11) erzeugten magnetischen Feld (13) an der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) kompensiert werden. 40
9. Verfahren zum Herstellen eines magnetischen Traglagers nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Schritt die inhomogene Verteilung des magnetischen Feldes an der Oberfläche (14) der supraleitenden Schicht (15) ausgemessen wird, und dass in einem zweiten Schritt die Homogenisierungsschicht (17) nach Massgabe der gemessenen Verteilung so ausgestaltet wird, dass die Inhomogenitäten in dem vom aktiven Magneten (11) erzeugten magnetischen Feld (13) an der Oberfläche (14) der su- 45

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

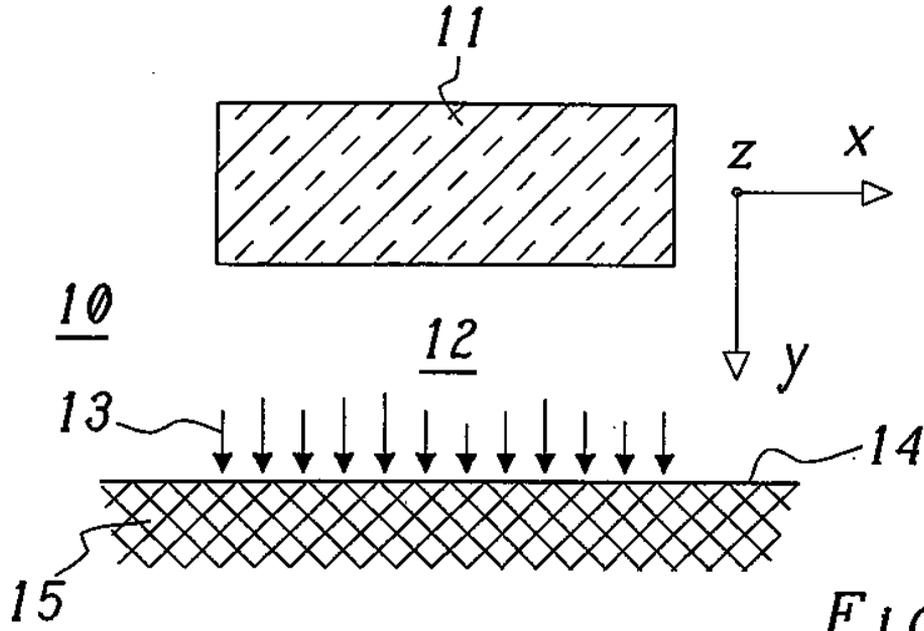


Fig. 1

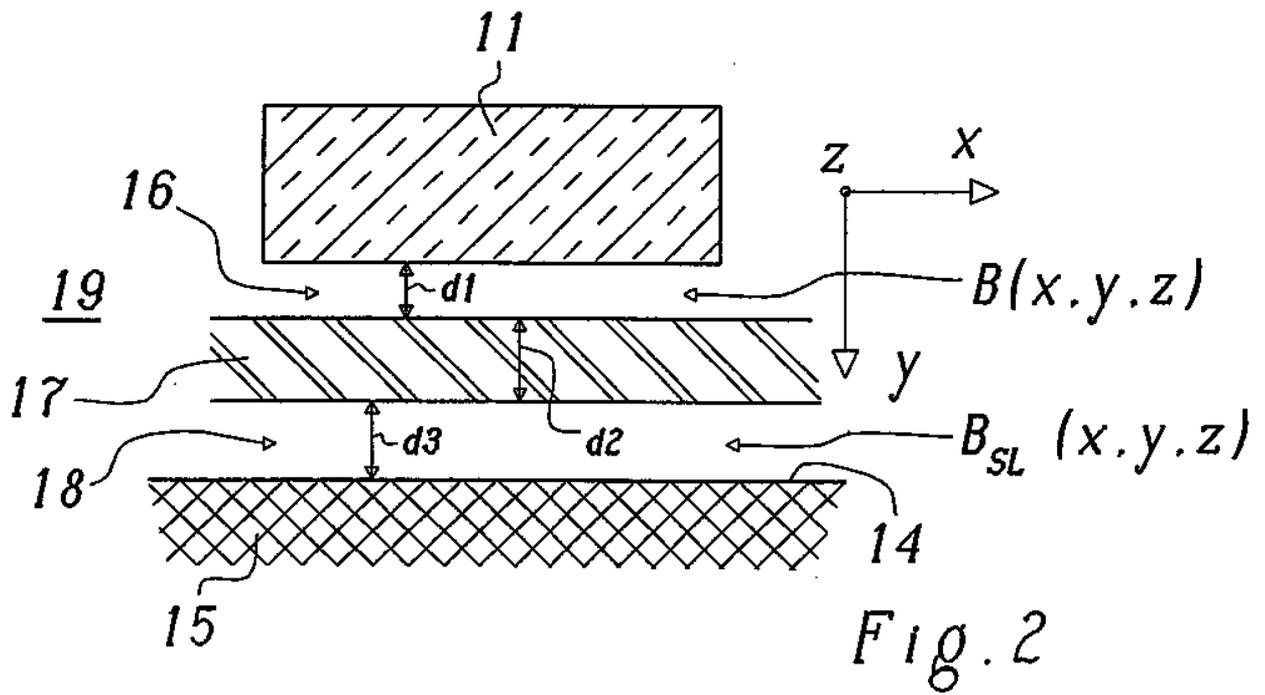


Fig. 2

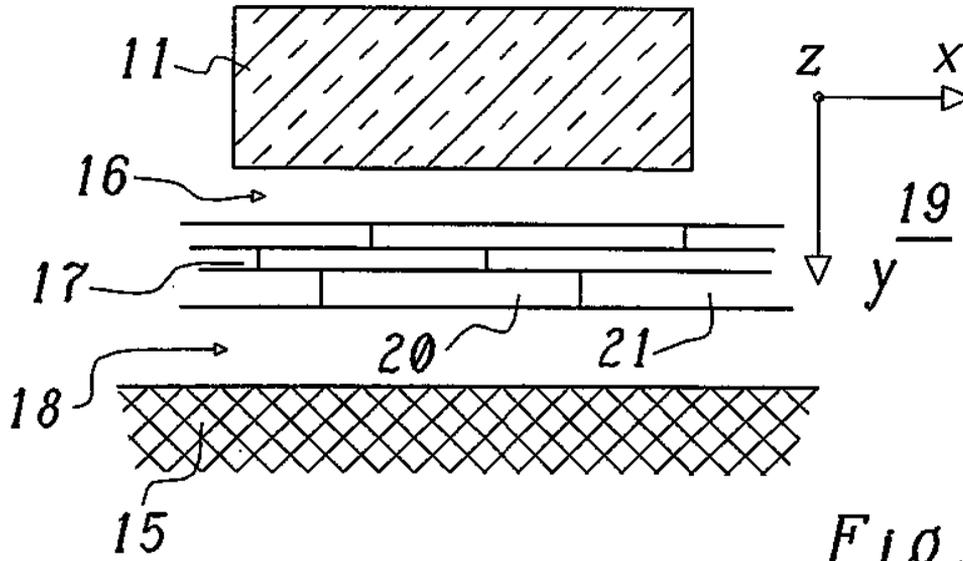


Fig. 3

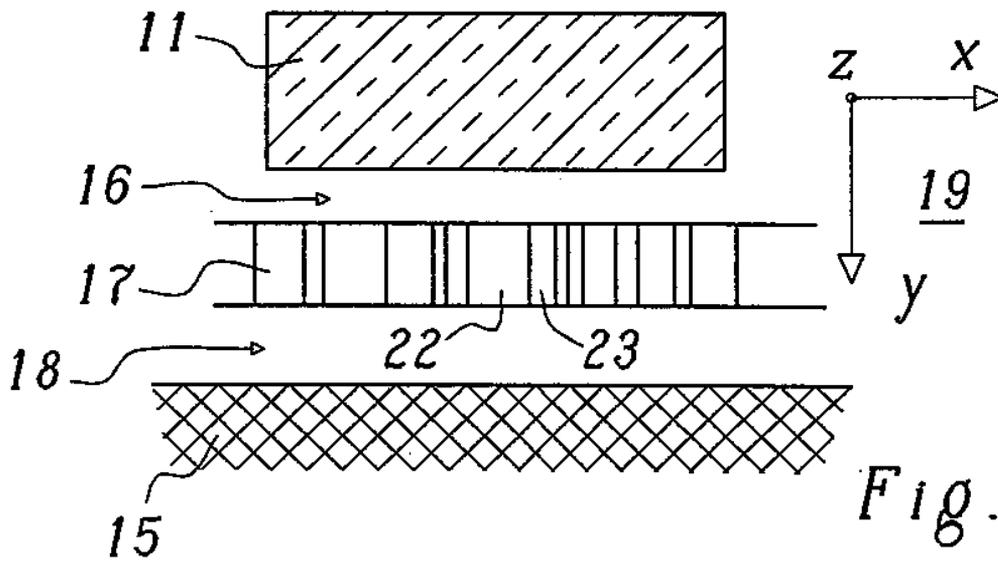


Fig. 4

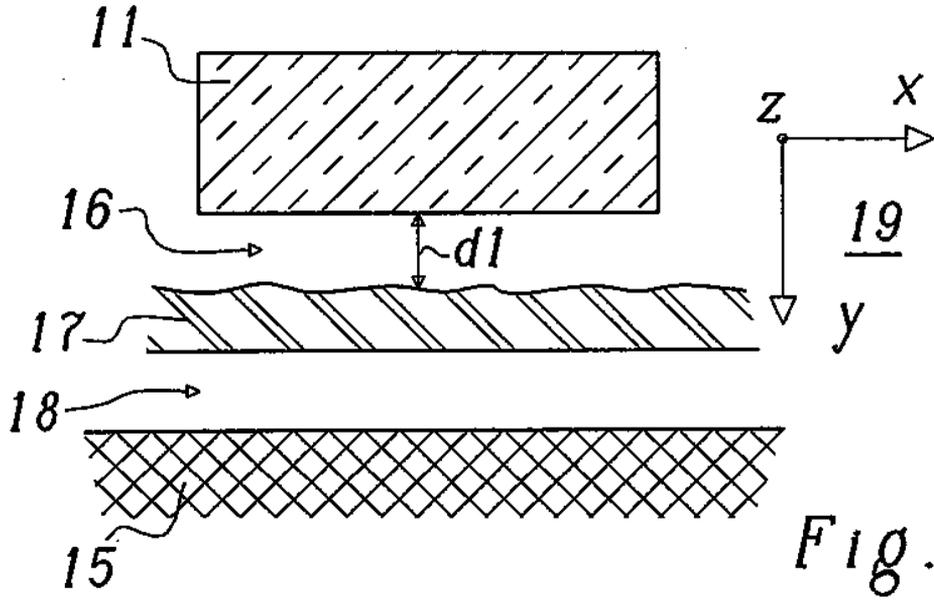


Fig. 5

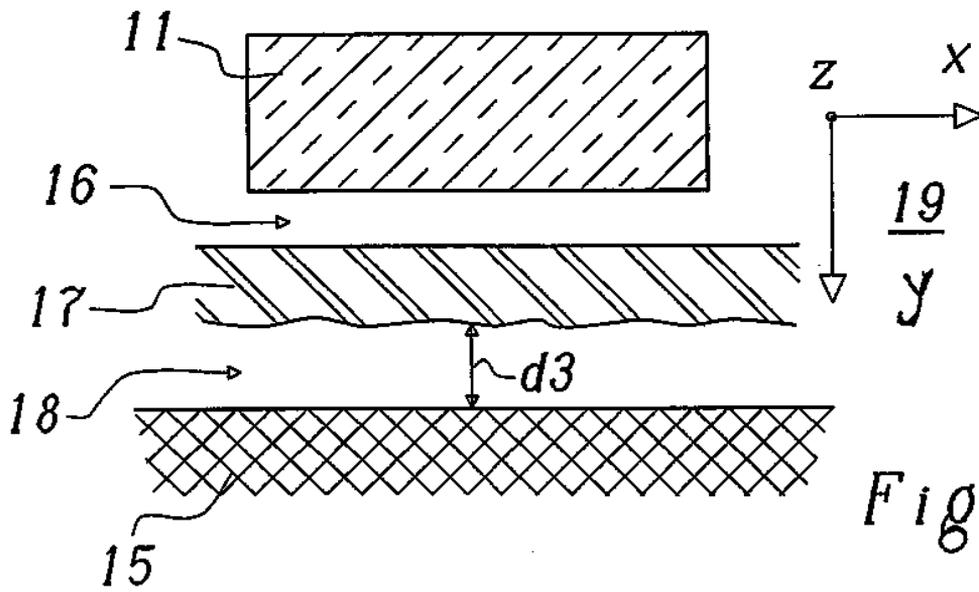


Fig. 6