

(19)



Deutsches
Patent- und Markenamt



(10) **DE 10 2010 034 258 A1** 2012.02.16

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2010 034 258.0**

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

(22) Anmeldetag: **13.08.2010**

(43) Offenlegungstag: **16.02.2012**

(71) Anmelder:

**Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG, 91074,
Herzogenaurach, DE**

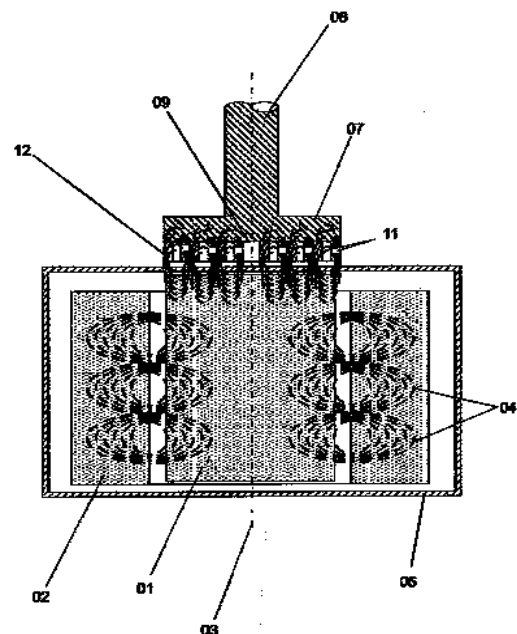
(72) Erfinder:

Glück, Stefan, 97424, Schweinfurt, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Supraleitendes Magnetlager**

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein supraleitendes Magnetlager zur rotativen Lagerung eines Maschinenelementes (08). Das erfindungsgemäße supraleitende Magnetlager umfasst zunächst einen Stator (02), welcher ein erstes supraleitendes Material aufweist. Das supraleitende Magnetlager umfasst weiterhin einen gegenüber dem Stator (02) rotierbaren Rotor (01), welcher ein zweites supraleitendes Material aufweist. Ein den Stator (02) und den Rotor (01) gemeinsam umschließendes Gehäuse (06) dient zur gemeinsamen Temperierung des Stators (02) und des Rotors (01), sodass diese als supraleitende Materialien fungieren können. Mit dem Gehäuse (06) soll insbesondere gewährleistet werden, dass das erste supraleitende Material und das zweite supraleitende Material jeweils eine Temperatur aufweisen, welche unterhalb der Sprungtemperatur des jeweiligen supraleitenden Materials liegt. Erfindungsgemäß umfasst das supraleitende Magnetlager weiterhin ein drehfest am Maschinenelement (08) anbringbares Kupplungselement (07), welches außerhalb des Gehäuses (06) coaxial zum Rotor (01) angeordnet ist und drehfest mit dem Rotor (01) magnetisch gekoppelt ist.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein supra-leitendes Magnetlager zur rotativen Lagerung eines Maschinenelementes. Ein gattungsgemäßes supra-leitendes Magnetlager umfasst einen Stator und einen gegenüber dem Stator rotierbaren Rotor, wobei sowohl der Stator als auch der Rotor ein supra-leitendes Material aufweisen. Das erfindungsgemäße Magnetlager kann beispielsweise zur rotativen Lagerung von Maschinenelementen einer Gasturbine, eines Großmotors oder einer Werkzeugmaschine verwendet werden.

[0002] Aus der WO 00/22311 A2 ist ein Magnetlager bekannt, bei welchem ein erstes Teil gegenüber einem zweiten Teil magnetisch gelagert ist, wobei das zweite Teil ein supraleitendes Material der zweiten Art aufweist. Das supraleitende Material enthält einen anisotropen Kristall oder mehrere aus diesem bestehende Körner. Das erste Teil umfasst eine Konfiguration aus Magneten, mit denen das supraleitende Material in Wechselwirkung steht.

[0003] Aus dem Artikel von Werfel, F. N. et al.: „HTS Magnetic Bearings in Prototype Application“, vorveröffentlicht für MT-21 IEEE Transactions on Applied Superconductivity, April 2010, wird ein Magnetlager gezeigt, bei welchem innerhalb eines Vakuumbehälters ein Hochtemperatursupraleiter angeordnet ist. Ein Drehteller mit einem Permanentmagneten befindet sich außerhalb des Vakuumbehälters und ist mit dem Hochtemperatursupraleiter magnetisch gekoppelt.

[0004] Die US 7,086,778 B2 zeigt eine Anordnung zum Rühren oder Vermischen von flüssigen Medien. Die Anordnung umfasst ein im flüssigen Medium anzuordnendes Rührelement, welches von einem in einem Kryostaten befindlichen Supraleiter magnetisch gelagert wird.

[0005] Aus der US 5,517,071 ist eine supraleitende Lagerung bekannt, bei welcher ein Rotor mit einem Korpus aus einem supraleitenden Material rotierbar gegenüber einer Spule aus einem supraleitenden Material gelagert ist.

[0006] Aus der DE 10 2008 028 588 A1 ist ein Magnetlager mit einem Hochtemperatursupraleiterelement bekannt, bei welchem ein Stator von einem Rotor drehbar aufgenommen wird. Der Rotor umfasst einen Korpus aus einem Typ-II-Supraleiter. Der Stator umfasst eine Spule aus einem supraleitenden Material. Die Verwendung von supraleitenden Materialien sowohl für den Stator als auch für den Rotor ermöglicht die Erzeugung hoher magnetischer Kräfte zur Lagerung des zu lagernden Maschinenelementes. Ein Nachteil dieser Lösung besteht darin, dass sowohl der Stator als auch der Rotor gekühlt wer-

den müssen, beispielsweise innerhalb eines einzigen Kryostaten. Dementsprechend ist eine Vakuum-Drehdurchführung erforderlich, welche zu Reibungsverlusten führt. Alternativ können der Rotor und der Stator in getrennten Kryostaten angeordnet werden, was den Einsatz einer drehbaren Kühlung erforderlich macht, die ebenfalls zu Reibungsverlusten führt.

[0007] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht ausgehend von dem aus der DE 10 2008 028 588 A1 bekannten supraleitenden Magnetlager darin, den Stator und den Rotor des Magnetlagers zu kühlen, ohne dafür Reibungsverluste in Kauf nehmen zu müssen.

[0008] Die genannte Aufgabe wird durch ein supra-leitendes Magnetlager gemäß dem beigefügten Anspruch 1 gelöst.

[0009] Das erfindungsgemäße supraleitende Magnetlager dient zur rotativen Lagerung eines Maschinenelementes, beispielsweise zur rotativen Lagerung eines Turbinenrades einer Gasturbine. Das supra-leitende Magnetlager umfasst zunächst einen Stator, welcher ein erstes supraleitendes Material aufweist. Das supraleitende Magnetlager umfasst weiterhin einen gegenüber dem Stator rotierbaren Rotor, welcher ein zweites supraleitendes Material aufweist. Das erste supraleitende Material und das zweite supraleitende Material können beispielsweise als Korpus einer so genannten Bulk-Anordnung und/oder als Spulen ausgebildet sein. Das erste supraleitende Material und das zweite supraleitende Material können auch gleich sein. Das supraleitende Magnetlager umfasst weiterhin ein den Stator und den Rotor gemeinsam umschließendes Gehäuse zur gemeinsamen Temperierung des Stators und des Rotors, sodass diese als supraleitende Materialien fungieren können. Mit dem Gehäuse soll insbesondere gewährleistet werden, dass das erste supraleitende Material und das zweite supraleitende Material jeweils eine Temperatur aufweisen, welche unterhalb der Sprungtemperatur des jeweiligen supraleitenden Materials liegt. Daher wirkt das Gehäuse bevorzugt thermisch isolierend, um eine Kühlung des Stators und des Rotors zu ermöglichen. Das Gehäuse ist bevorzugt fest und dicht verschlossen und weist keine Drehdurchführung oder dergleichen auf. Auch ist das Gehäuse bevorzugt nicht drehbar in Bezug auf das zu lagernde Maschinenelement. Erfindungsgemäß umfasst das supraleitende Magnetlager weiterhin ein drehfest am Maschinenelement anbringbares Kupplungselement, welches außerhalb des Gehäuses coaxial zum Rotor angeordnet ist und drehfest mit dem Rotor magnetisch gekoppelt ist. Das Kupplungselement kann als integraler Bestandteil des zu lagernden Maschinenelementes ausgebildet sein. Eine Wandung des Gehäuses befindet sich zwischen dem Rotor und dem Kupplungselement, wodurch die magnetische Kopplung zwischen dem Kupplungselement und dem Ro-

tor jedoch nicht oder nur kaum beeinträchtigt wird. Mithilfe des Kupplungselementes ist das Maschinenelement an das Magnetlager koppelbar, sodass das Maschinenelement durch das supraleitende Magnetlager rotativ gelagert wird. Wenn sich das Maschinenelement dreht, so drehen sich auch das daran befestigte Kupplungselement und der am Kupplungselement drehfest angekoppelte Rotor, welcher gegenüber dem Stator magnetisch gelagert ist.

[0010] Ein besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen supraleitenden Magnetlagers besteht darin, dass einerseits die Verwendung von supraleitenden Materialien sowohl für den Rotor als auch für den Stator die Erzeugung hoher magnetischer Kräfte zur Lagerung des Maschinenelementes ermöglicht, und andererseits keine Drehdurchführung oder dergleichen erforderlich ist, um ein sich bewegendes Teil aus einem gekühlten Bereich in einen nicht gekühlten Bereich zu überführen. Die Kühlung des Rotors und des Stators kann hocheffektiv in dem verschlossenen Gehäuse erfolgen.

[0011] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen supraleitenden Magnetlagers ist am Kupplungselement mindestens ein Permanentmagnet befestigt, welcher mit dem Rotor magnetisch gekoppelt ist. Dabei kann das Kupplungselement vollständig durch den einen oder durch die mehreren Permanentmagneten gebildet sein. Die magnetische Kopplung des einen oder der mehreren Permanentmagneten an den Rotor erfolgt bevorzugt dadurch, dass der eine bzw. die mehreren Permanentmagneten mit dem zweiten supraleitenden Material des Rotors magnetisch gekoppelt sind. Der eine oder die mehreren Permanentmagneten sind bevorzugt auf einer dem Gehäuse zuzuwendenden Stirnfläche des zu lagernden Maschinenelementes angeordnet. Bevorzugt sind mehrere der Permanentmagneten am Kupplungselement befestigt. Besonders bevorzugt beträgt die Anzahl der Permanentmagneten gleich vier oder ein Mehrfaches von vier, wobei sich die Permanentmagneten in einer so genannten Halbach-Anordnung befinden.

[0012] Das zweite supraleitende Material weist bevorzugt kristalline Störstellen auf, durch welche das Magnetfeld des Permanentmagneten hindurch geleitet wird. Das Magnetfeld wird aufgrund des Meißner-Ochsenfeld-Effektes vor allem in die Störstellen gedrängt, was auch als Einfrieren des Magnetfeldes bezeichnet wird. Dadurch werden die kristallinen Störstellen durch die Magnetkräfte des Permanentmagneten gehalten, was auch als Pinning bezeichnet wird. Das Pinning führt zu einer belastbaren drehfesten magnetischen Kopplung des Permanentmagneten an das zweite supraleitende Material. Als zweites supraleitendes Material eignet sich insbesondere ein Supraleiter der Typs II.

[0013] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen supraleitenden Magnetlagers weist der Permanentmagnet eine Zylinderform auf, deren Achse in einer Rotationsachse des Magnetlagers liegt. Eine kreisförmige Grundfläche der Zylinderform des Permanentmagneten steht einer kreisförmigen Grundfläche des Rotors parallel und koaxial gegenüber, wobei sich zwischen der kreisförmigen Grundfläche der Zylinderform des Permanentmagneten und der kreisförmigen Grundfläche des Rotors eine Wandung des Gehäuses befindet.

[0014] Der Permanentmagnet weist bevorzugt mehrere magnetische Pole auf, welche dem Rotor gegenüberstehen. Hierdurch kann ein großes Drehmoment zur drehfesten Ankopplung des drehfesten Permanentmagneten am Rotor gewährleistet werden. Hierbei sind die mehreren magnetischen Pole bevorzugt abwechselnd gepolt.

[0015] An dem Permanentmagneten sind bevorzugt Flussleitelemente zur Leitung des magnetischen Flusses in Richtung des Rotors angeordnet. Die Flussleitelemente dienen dazu, den magnetischen Fluss in Richtung des Rotors auszurichten, sodass eine hoch belastbare drehfeste Ankopplung des Kupplungselementes am Rotor gewährleistet werden kann.

[0016] Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen supraleitenden Magnetlagers weist das sich zwischen dem Permanentmagneten und dem Rotor ausbildende Magnetfeld in allen Raumrichtungen einen Gradienten auf, welcher mindestens 10 mT/m beträgt. Hierdurch werden große Kräfte zur Kopplung des Kupplungselementes am Rotor erzeugt. Besonders bevorzugt betragen die Gradienten des sich ausbildenden Magnetfeldes in allen Raumrichtungen mindestens 100 mT/m.

[0017] Das Gehäuse ist bevorzugt als Kryostat oder als Teil eines Kryostaten ausgebildet. Bei dem Kryostaten handelt es sich um ein Kühlgerät, mit welchen sehr tiefe Temperaturen konstant eingehalten werden können. Dabei umfasst der Kryostat bevorzugt eine Kühleinrichtung, welche im Gehäuse oder beabstandet zum Gehäuse angeordnet sein kann.

[0018] Bei dem zweiten supraleitenden Material des Rotors handelt es sich bevorzugt um ein supraleitendes Material zweiter Art, besonders bevorzugt um einen Hochtemperatursupraleiter. Dabei ist das zweite supraleitende Material bevorzugt als ein Korpus des Rotors ausgebildet. Supraleitende Materialien zweiter Art werden auch als Typ II bezeichnet.

[0019] Der Stator ist bevorzugt durch eine supraleitende Gradientenspule aus dem ersten supraleitenden Material gebildet. Bei einer alternativen bevorzugten Ausführungsform besitzt der Stator einen Kor-

pus aus dem ersten supraleitenden Material. Bei dem ersten supraleitenden Material handelt es sich bevorzugt um ein supraleitendes Material zweiter Art, besonders bevorzugt um einen Hochtemperatursupraleiter. Insofern sowohl der Stator als auch der Rotor einen Korpus aus dem supraleitenden Material besitzen, ist eine so genannte Doppel-Bulk-Anordnung ausgebildet.

[0020] Der Stator weist bevorzugt die Form eines Hohlzylinders auf, während der Rotor die Form eines Zylinders besitzt. Dabei ist der Rotor coaxial zum Stator in der Hohlform des Stators angeordnet.

[0021] Das Gehäuse ist bevorzugt hohlzylinderförmig ausgebildet, durch welches der Stator form-schlüssig aufgenommen wird.

[0022] Weitere Vorteile, Einzelheiten und Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Magnetlagers, unter Bezugnahme auf die Zeichnung.

[0023] Die einzige **Fig. 1** zeigt eine bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen supraleitenden Magnetlagers in einer Querschnittsansicht. Das supraleitende Magnetlager umfasst zunächst einen zylinderförmigen Rotor **01** aus einem Supraleiter des Typs II. Der Rotor **01** ist coaxial zu einem hohlzylinderförmigen Stator **02** angeordnet, welcher ebenfalls aus einem Supraleiter des Typs II besteht, sodass der Rotor **01** und der Stator **02** eine Doppel-Bulk-Anordnung ausbilden. Alternativ können der Rotor **01** und/oder der Stator **02** eine oder mehrere Spulen aus einem Supraleiter umfassen. Der Rotor **01** ist um eine Rotationsachse **03** gegenüber dem Stator **02** drehbar. Es bildet sich ein Magnetfeld zwischen dem Rotor **01** und dem Stator **02** aus, welches durch Feldlinien **04** angedeutet ist und Kräfte zur rotativen Lagerung des Rotors **01** gegenüber dem Stator **02** bewirkt. Der Rotor **01** und der Stator **02** befinden sich gemeinsam in einem abgeschlossenen Kryostaten **06**. Mithilfe des Kryostaten **06** werden der Rotor **01** und der Stator **02** permanent auf eine Temperatur abgekühlt, welche niedriger ist als die Sprungtemperatur der supraleitenden Materialien des Rotors **01** und des Stators **02**. Folglich befinden sich der Rotor **01** und der Stator **02** in einem supraleitenden Zustand. Der Kryostat **06** weist keine mechanische Durchführung zur Übertragung einer Kraft oder eines Drehmomentes auf. Somit kann die Dichtheit des Kryostaten **06** aufwandsarm gewährleistet werden.

[0024] Das supraleitende Magnetlager umfasst weiterhin ein Kupplungselement **07**, welches an einer zu lagernden Welle **08** befestigt ist. Das Kupplungselement **07** weist die Form eines flachen Zylinders auf. Der Rotor **01**, das Kupplungselement **07** und die zu lagernde Welle **08** sind coaxial zueinander angeordnet.

net. Sie drehen sich gemeinsam um die Rotationsachse **03** des Magnetlagers. Das Kupplungselement **07** und die damit fest verbundene Welle **08** befinden sich vollständig außerhalb des Kryostaten **06**.

[0025] Das Kupplungselement **07** besteht aus einem permanentmagnetischen Material. Durch die vom Magnetfeld des permanentmagnetischen Materials bewirkte Kraft auf den Rotor **01** ist das Kupplungselement **07** drehfest mit dem Rotor **01** verbunden. Auf einer dem Rotor **01** gegenüberstehenden Grundfläche **09** des Kupplungselementes **07** sind Flussleitelemente **11** angeordnet, um das magnetische Feld des permanentmagnetischen Materials des Kupplungselementes **07** in Richtung des Rotors **01** auszurichten. Dieses Magnetfeld ist durch Feldlinien **12** angedeutet und wird durch kristalline Störstellen im supraleitenden Material des Rotors **01** geleitet, sodass es zum so genannten Pinning kommt. Hierdurch wird eine belastbare drehfeste Verbindung zwischen dem Kupplungselement **07** und dem Rotor **01** ausgebildet. Der Kryostat **06** ist so auszuführen, dass er den Rotor **01** nicht gegenüber dem Kupplungselement **07** magnetisch abschirmt.

[0026] Das Kupplungselement **07** und die Welle **08** müssen nicht gekühlt werden, sodass keine besonderen Maßnahmen zur Kühlung außerhalb des Kryostaten **06** erforderlich sind.

Bezugszeichenliste

01	Rotor
02	Stator
03	Rotationsachse
04	Feldlinien
05	
06	Kryostat
07	Kupplungselement
08	zu lagernde Welle
09	kreisförmige Grundfläche
10	
11	Flussleitelemente
12	Feldlinien

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 00/22311 A2 [0002]
- US 7086778 B2 [0004]
- US 5517071 [0005]
- DE 102008028588 A1 [0006, 0007]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Werfel, F. N. et al.: „HTS Magnetic Bearings in Prototype Application“, vorveröffentlicht für MT-21 IEEE Transactions on Applied Superconductivity, April 2010 [0003]

Patentansprüche

1. Supraleitendes Magnetlager zur rotativen Lagerung eines Maschinenelementes (08), mit:

- einem Stator (02), umfassend ein erstes supraleitendes Material;
- einem gegenüber dem Stator (02) rotierbaren Rotor (01) umfassend ein zweites supraleitendes Material;

und

- einem den Stator (02) und den Rotor (01) umschließenden Gehäuse (06) zur gemeinsamen Temperierung des Stators (02) und des Rotors (01);

dadurch gekennzeichnet, dass es weiterhin ein drehfest am Maschinenelement (08) anbringbares Kupplungselement (07) umfasst, welches außerhalb des Gehäuses (06) coaxial zum Rotor (01) angeordnet ist und drehfest mit dem Rotor (01) magnetisch gekoppelt ist.

2. Supraleitendes Magnetlager nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass am Kupplungselement ein Permanentmagnet (07) befestigt ist, welcher drehfest mit dem Rotor (01) magnetisch gekoppelt ist.

3. Supraleitendes Magnetlager nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite supraleitende Material kristalline Störstellen aufweist, durch welche das Magnetfeld des Permanentmagneten (07) geleitet wird.

4. Supraleitendes Magnetlager nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Permanentmagnet (07) eine Zylinderform aufweist, deren Achse in einer Rotationsachse (03) des Magnetlagers liegt, wobei eine kreisförmige Grundfläche (09) der Zylinderform einer kreisförmigen Grundfläche des Rotors (01) parallel und coaxial gegenübersteht.

5. Supraleitendes Magnetlager nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass an dem Permanentmagneten (07) Flussleitelemente (11) zur Leitung des magnetischen Flusses (12) in Richtung des Rotors (01) angeordnet sind.

6. Supraleitendes Magnetlager nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das sich zwischen dem Permanentmagneten (07) und dem Rotor (01) ausbildende Magnetfeld (12) in allen Raumrichtungen einen Gradienten von mindestens 10 mT/m aufweist.

7. Supraleitendes Magnetlager nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Gehäuse durch einen Kryostaten (06) gebildet ist.

8. Supraleitendes Magnetlager nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite supraleitende Material ein supraleitendes Material zweiter Art ist.

9. Supraleitendes Magnetlager nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (02) durch eine supraleitende Gradientenspule aus dem ersten supraleitenden Material gebildet ist.

10. Supraleitendes Magnetlager nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Stator (02) einen Korpus aus dem ersten supraleitenden Material besitzt.

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

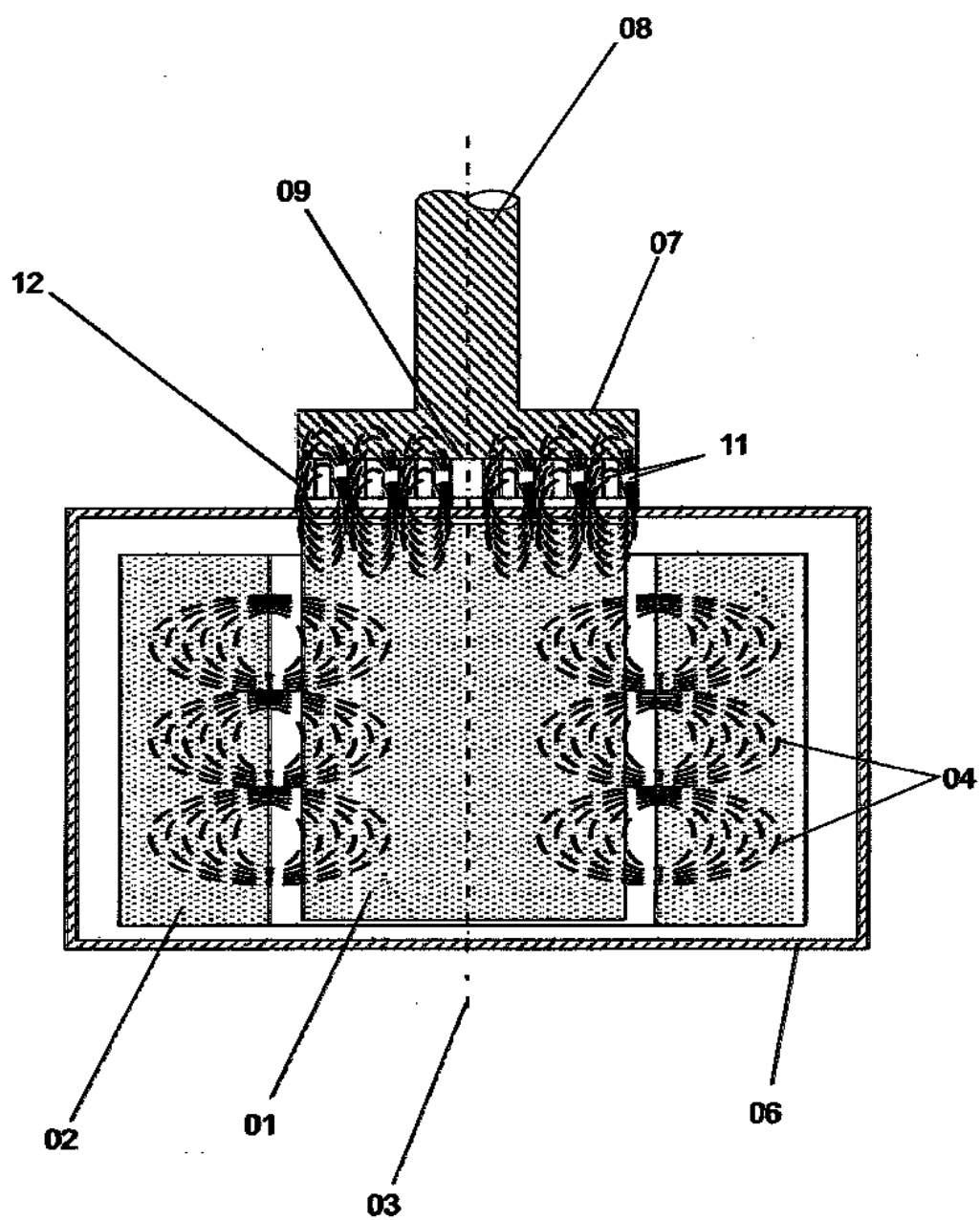


Fig. 1