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

(11) **EP 2 740 943 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des Hinweises auf die Patenterteilung:
10.01.2018 Patentblatt 2018/02

(51) Int Cl.:
F04D 17/16 *(2006.01)* ***F04D 19/04*** *(2006.01)*
F04D 29/02 *(2006.01)* ***F04D 29/32*** *(2006.01)*

(21) Anmeldenummer: **13194311.0**

(22) Anmeldetag: **25.11.2013**

(54) **Vakuumpumpe**

Vacuum pump

Pompe à vide

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR

(30) Priorität: **04.12.2012 DE 102012222230**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
11.06.2014 Patentblatt 2014/24

(73) Patentinhaber: **PFEIFFER VACUUM GMBH**
35614 Asslar (DE)

(72) Erfinder: **Koci, Bernd**
35641 Schöffengrund (DE)

(74) Vertreter: **Manitz Finsterwald Patentanwälte PartmbB**
Martin-Greif-Strasse 1
80336 München (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A1-2008/130739
WO-A2-2007/022332
DE-A1- 10 053 663
DE-A1-102008 025 700
DE-A1-102010 021 240
DE-T2- 60 030 833
GB-A- 2 490 127

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 2 740 943 B1

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vakuumpumpe, insbesondere eine Turbomolekularpumpe, und ein Verfahren zur Herstellung einer Vakuumpumpe.

[0002] Vakuumpumpen, wie insbesondere Turbomolekularpumpen, eignen sich zur Herstellung eines hochreinen Vakuums in einer Vakuumkammer und werden beispielsweise in der Beschichtungs- und Halbleitertechnik eingesetzt, um das für die dort durchzuführenden Prozessschritte notwendige Vakuum herzustellen. Typische Halbleiterprozesse bestehen aus einer Vielzahl von aufeinanderfolgenden Prozessschritten, in denen jeweils verschiedene Prozessgase in die Vakuumkammer eingeleitet werden, die anschließend von der Vakuumpumpe abgepumpt werden müssen. Um die für die Wirtschaftlichkeit dieser Verfahren entscheidenden Zykluszeiten möglichst zu verringern, besteht die Bestrebung, die Fördermenge und Förderleistung der Vakuumpumpen zu erhöhen und diese dazu beispielsweise mit erhöhten Rotationsgeschwindigkeiten zu betreiben.

[0003] Die höheren Fördermengen und Rotationsgeschwindigkeiten führen zusätzlich zu einer erhöhten mechanischen Belastung zu einer erheblichen Erwärmung und damit thermischen Belastung der Pumpenkomponenten.

[0004] Im Stand der Technik werden verschiedene Materialien für die Rotorscheiben einer Turbomolekularpumpe vorgeschlagen, welche erhöhten thermischen und mechanischen Belastungen standhalten sollen. Beispielsweise beschreibt US 6,095,754 A die Verwendung eines Verbundwerkstoffs aus einer Metallmatrix und einem Verstärkungsadditiv für die Schaufeln der Rotorscheibe einer Turbomolekularpumpe. WO 2007/125104 A1 beschreibt einen Rotor oder Stator einer Turbomolekularpumpe mit Schaufeln aus einer Aluminiumlegierung, die eine Al-Cu-Mg-Mn-Knetlegierung umfasst, welche erhöhten Temperaturen standhalten soll.

[0005] Die Eignung der bekannten Vakuumpumpen für den Betrieb mit hohen Gaslasten und Fördergeschwindigkeiten, beispielsweise in der Halbleitertechnik, ist auch bei dem Einsatz der genannten Materialien begrenzt. Beispielsweise führt die bei der Halbleiterherstellung in speziellen Prozessschritten kurzzeitig anfallende Menge des zu fördernden Gases zu einem kurzzeitigen Drehzahlabfall des Rotors, was insbesondere bei hohen Drehzahlen eine starke Materialbelastung und Temperaturerhöhung der rotierenden Pumpenkomponenten zur Folge hat. Es tritt somit schlagartig eine hohe mechanische und thermische Belastung auf, welche aufgrund der begrenzten thermischen und mechanischen Belastbarkeit der Pumpenkomponenten zu einem vorzeitigen Ausfall der bekannten Vakuumpumpen führen kann und deren Lebensdauer reduziert.

[0006] Die WO 2007/022332 A2 beschreibt eine Vakuumpumpe, an deren Rotor eine Einrichtung mit Feldemissionsspitze angeordnet ist, die Nanopartikel enthält.

[0007] In der DE 600 30 833 T2 ist eine Vakuumpumpe mit einer magnetischen Abschirmung beschrieben, die eine Nanokristalllegierung aufweist.

[0008] Die DE 10 2010 021 240 A1 beschreibt, dass Elemente einer Vakuumpumpe eine Oberflächenbeschichtung aufweisen, die Nano-Zinkoxid enthält.

[0009] In der DE 100 53 663 A1 ist eine Vakuumpumpe mit einem Rotor beschrieben, der aus pulvermetallurgisch hergestellten Legierungen hergestellt ist.

[0010] Die GB 2 490 127 A beschreibt Rotorschaufeln für eine Turbine, die aus faserverstärktem Werkstoff mit Nanopartikeln hergestellt sind.

[0011] Erzeugnisse, die in Bereichen mit Nanofasern verstärkt sind, sind ferner in der WO 2008/130739 A1 beschrieben.

[0012] Schließlich beschreibt die DE 10 2008 025 700 A1 einen Flügel für einen Radiallüfter, der eine Beimischung von Kohlenstoff-Nanoröhrchen enthält.

[0013] Aufgabe der Erfindung ist, eine Vakuumpumpe zu schaffen, die zuverlässig mit einer hohen Gaslast und Fördergeschwindigkeit betrieben werden kann, die gleichzeitig eine hohe Betriebslebensdauer aufweist und die zudem kostengünstig herstellbar ist. Insbesondere soll die Vakuumpumpe auch hohen mechanischen und thermischen Belastungen standhalten, die gleichzeitig und insbesondere zyklisch wiederkehrend auftreten, wie beispielsweise bei der Halbleiterherstellung, ohne dass die Lebensdauer der Vakuumpumpe dadurch herabgesetzt wird.

[0014] Die Aufgabe wird durch eine Vakuumpumpe, insbesondere eine Turbomolekularpumpe, mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Erfindungsgemäß umfasst wenigstens eine Komponente der Vakuumpumpe ein Material oder besteht aus einem Material, welches ein Metall und Nanopartikel enthält, wobei das Material zwischen 0,5 bis 10 Gew.-% Nanopartikel enthält. Durch die Zugabe der Nanopartikel wird eine Verstärkung der Pumpenkomponente erreicht, welche die Beständigkeit der Komponente, beispielsweise der Rotorscheibe einer Turbomolekularpumpe, gegenüber den bei dem Betrieb der Vakuumpumpe mit hohen Gaslasten und Fördergeschwindigkeiten auftretenden mechanischen und thermischen Belastungen erhöht. Gleichzeitig behält die Pumpenkomponente ihre für den Einsatz in der Vakuumpumpe günstigen metallischen bzw. metallähnlichen Materialeigenschaften.

Insbesondere weist die Pumpenkomponente infolge der Verstärkung des metallischen Materials durch die Nanopartikel eine erhöhte Festigkeit auf, und zwar speziell eine besonders hohe Warmfestigkeit und Dauerfestigkeit. Es wird vermutet, dass die Nanopartikel Hindernisse für die Bewegung von Versetzungen bzw. Gitterfehler in dem Metall darstellen und dadurch eine hohe Versetzungsdichte und eine dementsprechend hohe Festigkeit des Materials gewährleisten. Gleichzeitig weist das Material auch bei hohen Belastungen eine geringe Kriechdehnung auf, wodurch die Gefahr einer durch eine Kriechverformung hervorgerufenen Beschädigung der Rotorscheiben vermieden wird.

Somit wird eine Vakuumpumpe geschaffen, die mit hohen Gaslasten und Förderleistungen betrieben werden kann und dennoch eine hohe Betriebslebensdauer aufweist. Wie nachstehend im Einzelnen erläutert, lässt sich die Vakuumpumpe mit einfachen Mitteln und auf kostengünstige Weise herstellen und ist somit zudem kostengünstig erhältlich.

[0015] Die hohe Belastbarkeit der Vakuumpumpe ermöglicht es außerdem, den auslassseitigen Druck der Vakuumpumpe, d.h. den Vorvakuumdruck, auf den die Vakuumpumpe das geförderte Gas bei ihrem Betrieb verdichtet, gegenüber bekannten Vakuumpumpen zu erhöhen. Aus diesem Grund kann mit weniger leistungsstarken Vorvakuumpumpen gearbeitet werden, die an den Auslass der Vakuumpumpe angeschlossen sind, um das Gas von dem Vorvakuumdruck auf Atmosphärendruck zu verdichten. Prinzipiell kann sogar ganz auf den Einsatz einer Vorvakuumpumpe verzichtet werden, d.h. es kann eine Vakuumpumpe und insbesondere eine Turbomolekularpumpe geschaffen werden, die zuverlässig mit einer so hohen Pumpleistung betrieben werden kann, dass die Pumpe das geförderte Gas direkt auf Atmosphärendruck verdichtet.

[0016] Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Figuren beschrieben.

[0017] Bei den Nanopartikeln kann es sich um Kohlenstoffnanopartikel, insbesondere um Kohlenstoffnanoröhrchen, handeln.

[0018] Vorzugsweise weist die Vakuumpumpe einen Stator und wenigstens ein Rotororgan auf, wobei das Rotororgan gegenüber dem Stator drehbar gelagert ist. Die Vakuumpumpe kann prinzipiell als Turbomolekularpumpe, als Holweckpumpe, als Seitenkanalpumpe, als Wälzkolbenpumpe oder als eine Kombination bzw. Verbundvakuumpumpe mehrerer der vorstehend genannten Pumpenarten ausgebildet sein.

[0019] Unter einem Metall wird hierin sowohl ein Reinmetall, das heißt eine einkomponentige Metalllegierung, verstanden als auch eine Legierung im herkömmlichen Sinne, das heißt eine mehrkomponentige Metalllegierung.

[0020] Vorzugsweise ist das Metall ein Leichtmetall wie zum Beispiel Aluminium, Magnesium, Titan oder eine Metalllegierung mit einem oder mehreren der vorstehenden Elemente. Ebenso kann das Metall Kupfer oder eine Kupferlegierung umfassen. Aufgrund des geringen spezifischen Gewichts von Aluminium und der damit einhergehenden geringen Fliehkraftbelastung einer aus Aluminium bestehenden rotierenden Komponente ist insbesondere Aluminium oder eine Aluminiumlegierung bzw. Aluminiumknetlegierung als Metall geeignet. Die mechanischen und thermischen Eigenschaften werden dabei durch die Zugabe der Nanopartikel gegenüber dem reinen Metall derart verbessert, dass die aus dem resultierenden Material hergestellte Komponente eine deutlich verbesserte Beständigkeit gegenüber den hohen mechanischen und thermischen Belastungen aufweist. Eine besonders hohe Belastbarkeit ergibt sich, wenn eine Aluminiumlegierung vom Typ 5XXX, insbesondere vom Typ 5083, eingesetzt wird. Auch bei Verwendung einer Aluminiumlegierung vom Typ 2XXX, insbesondere vom Typ 2618, lässt sich eine hohe mechanische und thermische Beständigkeit erreichen. Die Aluminiumlegierung, insbesondere von einem der Typen 5XXX, z.B. 5083, oder 2XXX, z.B. 2618, entspricht dabei vorzugsweise einer entsprechenden Definition in der DIN EN 573-1,2,3, d.h. die Aluminiumlegierung vom Typ 5083 entspricht der dort definierten Aluminiumlegierung EN AW-5083 bzw. die Aluminiumlegierung vom Typ 2618 entspricht der dort definierten Aluminiumlegierung EN AW-2618A. Zur Erzielung einer hohen Festigkeit kann eine mischkristallverfestigte Metalllegierung verwendet werden. Das Material der Pumpenkomponente kann generell eine Vickers-Härte von mehr als 160 HV aufweisen.

[0021] Eine besonders hohe Festigkeit der Komponente wird erreicht, wenn das Material zwischen 0,5 bis 10 Gew.-%, bevorzugt zwischen 1 und 9 Gew.-% und ferner bevorzugt zwischen 2 und 4 Gew.-% Nanopartikel enthält. Der Rest des Materials kann zumindest annähernd vollständig aus dem Metall bzw. der Metalllegierung bestehen.

[0022] Das Metall und die Nanopartikel bilden gemeinsam vorzugsweise ein festes Gefüge, wobei das Metall eine Matrix bilden kann, in der die Nanopartikel eingebettet sind. Eine besonders hohe Festigkeit wird erzielt, wenn die Nanopartikel zumindest teilweise vereinzelt in dem Metall vorliegen und zumindest teilweise vereinzelt in eine durch das Metall gebildete Matrix eingebettet sind. Die Nanopartikel weisen vorzugsweise eine zumindest näherungsweise isotrope und insbesondere im Wesentlichen homogene Verteilung in dem Material auf. Dadurch können in allen Bereichen der Komponente und in alle Raumrichtungen die gleichen vorteilhaften mechanischen und thermischen Eigenschaften gewährleistet werden.

[0023] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform umfasst das Material durch das Metall gebildete Körner mit einer mittleren Korngröße zwischen 1 und 400 nm, bevorzugt zwischen 1 und 200 nm. Die Körner, welche auch als Kristallite bezeichnet werden, sind vorzugsweise durch die Nanopartikel zumindest teilweise voneinander getrennt. Dadurch ergibt sich eine besonders hohe Festigkeit des Materials. Es wird angenommen, dass die vorzugsweise entlang der Korngrenzen verlaufenden Nanopartikel das Kornwachstum und die Bewegung von Versetzungen in dem Metall behindern, wodurch eine besonders hohe Festigkeit des Materials gewährleistet wird. Neben Nanopartikeln, die sich entlang der Korngrenzen des Metalls erstrecken, können auch Nanopartikel vorhanden sein, welche sich zumindest teilweise innerhalb eines Korns erstrecken, wodurch die Festigkeit weiter erhöht wird. Es wird vermutet, dass derartige Nanopartikel den Zusammenhalt des Korns mit benachbarten Körnern und somit die Festigkeit des Materials zusätzlich erhöhen.

[0024] Die durch die Nanopartikel bewirkte Verfestigung ist besonders ausgeprägt, wenn die Nanopartikel zumindest zum Teil oder im Durchschnitt ein Aspektverhältnis, das heißt ein Verhältnis von Länge zu Querschnittsdurchmesser, von wenigstens 3, bevorzugt wenigstens 10 und besonders bevorzugt wenigstens 30 aufweisen.

[0025] Unter einem Nanopartikel wird insbesondere ein Partikel verstanden, welches zwei oder drei äußere Dimensionen im nanoskaligen Bereich aufweist, das heißt im Bereich von 1 bis 1.000 nm, bevorzugt im Bereich von 1 bis 100 nm, so dass von dem Begriff auch Nanofasern umfasst sind. Vorteilhafte Ergebnisse in Bezug auf die Festigkeit des Materials und dessen Verarbeitbarkeit werden insbesondere bei der Verwendung von anorganischen Nanopartikeln wie insbesondere Nanopartikeln aus Carbiden, Nitriden und Siliziden erzielt. Besonders hohe Festigkeiten werden mit Kohlenstoffnanopartikeln und insbesondere Kohlenstoffnanoröhrchen bzw. "carbon nanotubes" (CNT) erreicht. Daher ist es bevorzugt, wenn die Nanopartikel zumindest teilweise und insbesondere im Wesentlichen vollständig durch Kohlenstoffnanoröhrchen gebildet sind.

[0026] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform sind als Nanopartikel Kohlenstoffnanoröhrchen vorgesehen, die eine eingerollte Struktur bzw. eine Scrollstruktur aufweisen. Anstelle einer nahtlosen geschlossenen Zylinderstruktur weisen die eine oder mehreren Graphenlagen eines solchen Nanoröhrchens einen schneckenförmigen Querschnitt auf, das heißt die aufgerollten Graphenlagen weisen zwei voneinander getrennte Längsseiten auf, die ineinander gerollt sind. Kohlenstoffröhrchen mit dieser Struktur und deren Herstellung sind beispielsweise in Iijima, Nature 354, 56 - 58, 1991 und Bacon, Journal of Applied Physics 34, 1960, 283 - 90, beschrieben.

[0027] Die Kohlenstoffnanoröhrchen können auch eine Scrollstruktur mit mehreren aufgerollten Graphitschichten aufweisen, wobei jede Graphitschicht zwei oder mehr aufeinander angeordnete Graphenlagen umfasst. Die mehreren Graphenlagen bilden gemeinsam die vorstehend beschriebene Schneckenstruktur, wobei die Längskanten aller Graphenlagen ineinander gerollt sind. Derartige Kohlenstoffröhrchen, deren Struktur auch als Multi-Scroll-Struktur bezeichnet wird, sowie deren Herstellung sind in DE 10 2007 044 031 A1 beschrieben. Die zwischen den offenen Längsseiten der Graphenlagen dieser Nanoröhrchen ausgebildete Unterbrechung ermöglicht das Eingehen einer besonders innigen Verbindung des Nanoröhrchens mit dem Metall, wodurch die Festigkeit des Materials erhöht wird. Die Kohlenstoffnanoröhrchen verlaufen ferner aufgrund ihres nicht geschlossenen, sondern im Bereich der Längsseiten der Graphenlagen offenen Querschnitts typischerweise nicht geradlinig, sondern entlang einer gekrümmten, kurvigen Bahn mit relativ kurzen, zwischen zwei Krümmungen angeordneten geraden Abschnitten und bilden somit bevorzugt Knäuel oder Bündel mit mehreren miteinander verworrenen Kohlenstoffnanoröhrchen. Derartige Knäuel lassen sich gegenüber vereinzelten Kohlenstoffnanoröhrchen einfacher und mit geringeren Sicherheitsvorkehrungen handhaben, wodurch der Herstellungsaufwand reduziert wird.

[0028] Die äußersten Lagen der Multi-Scroll-Nanoröhrchen können durch eine insbesondere durch eine Druckbeaufschlagung durchgeführte Funktionalisierung zumindest teilweise aufgebrochen sein, wodurch eine noch innigere Verbindung mit dem Metall ermöglicht wird.

[0029] Der mittlere äußere Durchmesser der Kohlenstoffnanoröhrchen kann zwischen 5 und 25 nm, insbesondere etwa 13 nm betragen. Die mittlere Länge der Nanoröhrchen kann zwischen 0,5 und 20 μm, bevorzugt zwischen 1 und 10 μm betragen, so dass sich ein sehr hohes Aspektverhältnis der Nanoröhrchen ergibt. Der innere Durchmesser der Nanoröhrchen kann zwischen 2 und 15 nm, bevorzugt zwischen 3 und 8 nm betragen. Die Nanoröhrchen können einen durch Veraschung ermittelten Kohlenstoffanteil von mehr als 95 % und bevorzugt mehr als 99 % aufweisen. Z.B. können die von der Firma Bayer Material Science AG, 51368 Leverkusen, unter der Bezeichnung Baytubes® vertriebenen Kohlenstoffnanoröhrchen eingesetzt werden.

[0030] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform ist das Material der Komponente durch ein pulvermetallurgisches Verfahren aus einem ein Metall und Nanopartikel enthaltenden pulverförmigen Verbundwerkstoff erhältlich. Mit einem solchen Verfahren lassen sich ein besonders festes Gefüge aus dem Metall und den Nanopartikeln, insbesondere mit einer gleichmäßigen Verteilung der Nanopartikel in dem Metall, gewährleisten. Das pulvermetallurgische Verfahren, welches das pulverförmige Ausgangsmaterial bevorzugt zu einem festen zusammenhängenden und vorzugsweise zumindest annähernd porenfreien oder gering porösen Grundkörper umwandelt, kann ein mechanisches Umformen, insbesondere bei gleichzeitiger Wärmezuführung, umfassen. Durch das Umformen kann ein z.B. länglicher Grundkörper mit im Wesentlichen rundem Querschnitt hergestellt werden, der beispielsweise im Wesentlichen zylinder- oder bolzenförmig ist und einen Durchmesser zwischen 50 und 200 mm, bevorzugt zwischen 60 und 120 mm aufweisen kann. Der Grundkörper kann auch platten- oder blechförmig ausgebildet sein. Beispielsweise kann das pulvermetallurgische Verfahren ein heißisostatisches Pressen (HIP) oder ein Strangpressen bzw. Extrudieren des pulverförmigen Verbundwerkstoffs umfassen. Prinzipiell kann das Umformen auch ein Walzen umfassen. Durch die Nanopartikel wird die Bewegung von Versetzungen bzw. Gitterfehlplätzen in dem Metall während des pulvermetallurgischen Verfahrens behindert, so dass das Material auch nach dem pulvermetallurgischen Verfahren und einer dabei ggf. erfolgenden Wärmebehandlung eine hohe Versetzungsdichte aufweist und das pulvermetallurgisch hergestellte Material folglich eine entsprechend hohe Festigkeit aufweist.

[0031] Eine Pumpenkomponente mit besonders günstigen Eigenschaften wird erreicht, wenn das pulverförmige Ausgangsmaterial durch ein mechanisches Legieren eines Metallpulvers mit Nanopartikeln erhältlich ist. Ein solches Legieren führt zu einem pulverförmigen Ausgangsmaterial mit einer gründlichen Durchsetzung des Metalls mit den Nanopartikeln und einer festen Verbindung zwischen den Nanopartikeln und dem Metall in den einzelnen Pulverpartikeln, so dass das daraus pulvermetallurgisch hergestellte Material ebenfalls eine besonders hohe Festigkeit aufweist.

[0032] Das pulverförmige Ausgangsmaterial kann insbesondere durch ein Verfahren erhältlich sein, welches umfasst, dass ein Metallpulver und Nanopartikel durch mechanisches Legieren derart verarbeitet werden, dass der hergestellte Verbundwerkstoff Metallkörner, die auch als Kristallite bezeichnet werden, mit einer durchschnittlichen Größe im Bereich von 1 bis 100 nm, vorzugsweise 10 bis 100 nm oder im Bereich von mehr als 100 nm bis 200 nm aufweist, die zumindest teilweise durch die Nanopartikel voneinander getrennt sind. Ein Material mit einer solchen Korngröße führt zu einer besonders hohen Festigkeit der resultierenden Pumpenkomponente. Ferner lässt sich das Ausgangsmaterial in industriellem Maßstab herstellen und ist dementsprechend kostengünstig erhältlich.

[0033] Ein Verfahren zur Herstellung eines geeigneten pulverförmigen Verbundwerkstoffs und ein dadurch erhältlicher Verbundwerkstoff sind beispielsweise in WO 2010/091790 A1 der Firma Bayer International SA beschrieben. Bei dem pulverförmigen Verbundwerkstoff kann es sich insbesondere um einen nach dem in WO 2010/091790 A1 als erfindungsgemäß beschriebenen Verfahren erhältlichen Verbundwerkstoff handeln. Ebenso kann das pulverförmige Ausgangsmaterial durch ein in einem der Patentfamilienmitglieder der WO 2010/091790 A1 als erfindungsgemäß beschriebenes Verfahren erhältlich sein. Insbesondere beschreiben WO 2010/091704 A1, WO 2010/102655 A2, WO 2010/091789 A1, WO 2010/091791 A1 und WO 2011/032791 A1 der Firma Bayer International SA derartige Verfahren.

[0034] Ein Material, aus dem die Komponente der Vakuumpumpe zumindest teilweise hergestellt sein kann, ist von der Firma Bayer Material Science AG, 51368 Leverkusen unter dem Handelsnamen Bayal-C DP® erhältlich.

[0035] Die das beschriebene Material umfassende Komponente der Vakuumpumpe ist vorzugsweise eine Komponente, die während des Betriebs der Pumpe mit den geförderten Medien in Kontakt kommt und insbesondere eine pumpaktive Struktur aufweist. Derartige Komponenten werden durch die bei hohen Pumpleistungen auftretenden mechanischen und thermischen Belastungen besonders stark beansprucht, so dass die Ausbildung einer solchen Komponente mit dem beschriebenen Material einen besonders wesentlichen Einfluss auf die Lebensdauer der Vakuumpumpe hat.

[0036] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform ist die Komponente ein Rotororgan der Vakuumpumpe, welches bei dem Betrieb der Vakuumpumpe rotierend angetrieben wird und vorzugsweise eine pumpaktive Struktur aufweist. Beispielsweise kann die Komponente eine Rotorscheibe einer turbomolekularen Pumpstufe der Vakuumpumpe umfassen oder daraus bestehen. Dabei wird durch das beschriebene Material eine besonders signifikante Erhöhung der möglichen Pumpleistung und der Lebensdauer der Pumpe erreicht, da die Rotorscheiben und insbesondere deren Schaufeln bei dem Betrieb der Vakuumpumpe mit hohen Gaslasten und Fördergeschwindigkeiten mechanisch und thermisch besonders stark belastet werden. Die Rotorscheibe kann dabei ein eigenständiges Bauteil der Vakuumpumpe darstellen oder Teil einer größeren rotierenden Komponente sein. Die Rotorscheibe kann z.B. einteilig mit einer Rotorwelle ausgebildet sein oder einen mit der Rotorwelle verbundenen Tragring umfassen. Die Komponente der Vakuumpumpe kann auch durch ein glockenförmiges Rotororgan gebildet sein, beispielsweise durch einen Glockenrotor einer turbomolekularen Pumpstufe, welcher insbesondere eine oder mehrere Rotorscheiben der turbomolekularen Pumpstufe umfassen kann.

[0037] Die Rotorscheibe umfasst als pumpaktive Struktur vorzugsweise mehrere Rotorschaufeln, die jeweils ganz oder teilweise aus dem beschriebenen Material bestehen und z.B. kranzförmig um einen Tragring der Rotorscheibe oder eine Rotorwelle herum angeordnet sind. Die Schaufeln weisen z.B. eine in radialer Richtung orientierte Längserstreckung und gegenüber der Drehrichtung angestellte Oberflächen auf, um einen in Förderrichtung, das heißt insbesondere senkrecht zur Scheibenebene, gerichteten Impuls an die Gasmoleküle abzugeben.

[0038] Anstatt einer turbomolekularen Pumpstufe kann das Rotororgan auch Teil einer Holweck-Pumpstufe, Siegbahnpumpstufe, Seitenkanalpumpstufe oder Wälzkolbenpumpstufe sein und kann beispielsweise einen rotierenden Holweck-Zylinder darstellen. Ein Holweck-Zylinder weist vorzugsweise eine glatte zylindermantelförmige pumpaktive Fläche auf, die gegenüber einer Statorhülse rotiert, welche mit spiralförmigen Gewindenuten versehen ist, in denen das pumpend angetriebene Gas geführt wird. Ebenso ist es möglich, dass anstelle der Statorhülse die rotierende Holweck-Hülse ein Gewinde mit spiralförmigen Gewindenuten aufweist und z.B. gegenüber einer glatten Oberfläche der Statorhülse rotiert. Es ist auch eine Ausgestaltung möglich, bei der eine Rotorhülse gegenüber einer Statorhülse rotiert, wobei die einander gegenüberliegenden, insbesondere zylindermantelförmigen Oberflächen sowohl der Rotorhülse als auch der Statorhülse jeweils ein Gewinde mit spiralförmigen Nuten aufweisen, in denen das pumpwirksam angetriebene Gas strömt, wobei der Drehsinn des Gewindes der einen Hülse dem Drehsinn des Gewindes der anderen Hülse entgegengesetzt ist.

[0039] Vorzugsweise ist die Pumpenkomponente

durch ein Verfahren erhältlich, welches das mechanische Bearbeiten eines zumindest teilweise aus dem beschriebenen Material gebildeten Grundkörpers umfasst, welcher ein Halbzeug darstellen kann. Beispielsweise kann die Bearbeitung eine materialentfernende und insbesondere spanabhebende Bearbeitung umfassen. Trotz der hohen mechanischen Festigkeit des Materials kann dadurch eine Pumpenkomponente mit der gewünschten Geometrie und ggf. pumpaktiven Struktur hergestellt werden, ohne dass bei der Herstellung die Notwendigkeit einer plastischen Verformung des Materials und eine damit einhergehende Gefahr einer nachteiligen Veränderung des Materials besteht. Beispielsweise können die Rotorschaufeln einer Rotorscheibe einschließlich ihrer in Drehrichtung weisenden und gegenüber der Drehrichtung angestellten Oberflächen im Wesentlichen vollständig durch ein Material entfernendes Verfahren aus dem Grundkörper herausgearbeitet werden. Auf eine plastische Verformung des Grundkörpers kann bei der Herstellung der Pumpenkomponente dementsprechend sogar vollständig verzichtet werden.

[0040] Gegenstand der Erfindung ist auch eine Komponente für eine Vakuumpumpe, insbesondere eine Rotorscheibe für eine Turbomolekularpumpe, welche ein Material umfasst oder daraus besteht, welches ein Metall und Nanopartikel, insbesondere Kohlenstoffnanoröhrchen, enthält. Die vorstehend in Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Vakuumpumpe in Bezug auf die Komponente der Vakuumpumpe beschriebenen vorteilhaften Ausführungsformen und Vorteile stellen bei entsprechender Anwendung vorteilhafte Ausführungsformen und Vorteile der erfindungsgemä-ßen Komponente dar.

[0041] Weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung einer Vakuumpumpe, insbesondere einer Turbomolekularpumpe, oder einer Komponente für eine solche Vakuumpumpe. Das Verfahren umfasst, dass eine Komponente der Vakuumpumpe bzw. die Komponente zumindest teilweise aus einem Material hergestellt wird, welches ein Metall und Nanopartikel enthält.

[0042] Die Herstellung der Komponente aus einem Material, welches ein Metall und Nanopartikel enthält, führt zu einer Vakuumpumpe, welche dauerhaft und zuverlässig mit hohen Pumpleistungen und hohen Gaslasten betrieben werden kann und gleichzeitig eine hohe Betriebslebensdauer aufweist. Das Verfahren kann insbesondere zur Herstellung einer wie vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Vakuumpumpe durchgeführt werden. Die hierin in Bezug auf die erfindungsgemäße Vakuumpumpe sowie deren Herstellung bzw. Herstellbarkeit beschriebenen vorteilhaften Ausführungsformen und Vorteile stellen bei entsprechender Anwendung vorteilhafte Ausführungsformen und Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens dar. Durch das Verfahren wird folglich eine Vakuumpumpe mit einer Komponente mit vorteilhaften mechanischen und thermischen Eigenschaften geschaffen, wobei sich die Eigenschaften der Komponente der Vakuumpumpe sowie von dessen Material außerdem durch Beeinflussung der Verfahrensparameter einfach und gezielt einstellen lassen.

[0043] Bei den Nanopartikeln kann es sich um Kohlenstoffnanopartikel, insbesondere um Kohlenstoffnanoröhrchen, handeln.

[0044] Gemäß einer vorteilhaften Ausführungsform umfasst das Bilden der Komponente eine mechanische Bearbeitung eines zumindest teilweise aus dem Material gebildeten Grundkörpers für die Komponente. Die Bearbeitung umfasst vorzugsweise eine materialentfernende und insbesondere spanabhebende Bearbeitung, wie beispielsweise Fräsen, Drehen, Schleifen, Sägen, Bohren oder Schneiden. Dadurch kann eine Pumpenkomponente mit der gewünschten Form hergestellt werden, ohne dass eine plastische Verformung des Materials erforderlich ist, so dass die vorteilhaften Eigenschaften des Materials nicht beeinträchtigt werden, wobei prinzipiell aber nicht ausgeschlossen ist, dass eine solche plastische Verformung erfolgt.

[0045] Beispielsweise kann aus dem Grundkörper mindestens eine Rotorscheibe für eine turbomolekulare Pumpstufe der Vakuumpumpe durch eine materialentfernende Bearbeitung herausgearbeitet werden, wobei bevorzugt die in Umlaufrichtung weisenden und gegenüber der Umlaufrichtung angestellten Oberflächen der Schaufeln der Rotorscheibe im Wesentlichen vollständig durch eine materialentfernende Bearbeitung herausgearbeitet werden. Der Grundkörper kann ursprünglich zum Beispiel eine längliche und insbesondere im Wesentlichen zylindrische Form aufweisen, wobei z.B. ein scheibenförmiger Abschnitt des zylinderförmigen Grundkörpers abgeschnitten werden kann, aus dem dann die pumpaktive Schaufelstruktur der Rotorscheibe durch eine materialentfernende Bearbeitung herausgearbeitet wird. Der Grundkörper kann auch platten- oder blechförmig ausgebildet sein.

[0046] Aus dem Grundkörper kann auch ein Glockenrotor, insbesondere für eine turbomolekulare Pumpstufe, hergestellt werden, insbesondere durch eine materialentfernende Bearbeitung, wobei der Glockenrotor eine oder mehrere Rotorscheiben der turbomolekularen Pumpstufe umfassen kann.

[0047] Gemäß einer Ausführungsform wird ein pulverförmiger Verbundwerkstoff bereitgestellt, der ein Metall und Nanopartikel enthält und der durch ein pulvermetallurgisches Verfahren zu der Komponente oder zu einem Grundkörper für die Komponente verarbeitet wird.

[0048] Die Verarbeitung des pulverförmigen Verbundwerkstoffs kann ein mechanisches Umformen umfassen, wobei dem Verbundwerkstoff vorzugsweise gleichzeitig Wärme zugeführt wird. Beispielsweise kann die Komponente bzw. deren Grundkörper aus dem pulverförmigen Verbundwerkstoff durch Strangpressen bzw. Extrudieren und/oder heißisostatisches Pressen hergestellt werden. Die in dem pulverförmigen Verbundwerkstoff enthaltenen Nanopartikel behindern dabei eine Bewegung der in dem Metall vorhandenen Versetzungen bzw. Git-

terfehlern, so dass selbst bei Durchführung des Umformens unter Wärmzugabe eine hohe Versetzungsdichte und entsprechend hohe Festigkeit des aus dem Pulver erzeugten Materials sichergestellt wird.

[0049] Vorzugsweise umfasst das Bereitstellen des pulverförmigen Verbundwerkstoffs ein mechanisches Legieren eines Metallpulvers mit Nanopartikeln.

[0050] Bevorzugt ist der verwendete pulverförmige Verbundwerkstoff nach einem der in den vorstehend zitierten Offenlegungsschriften der Firma Bayer International SA als erfindungsgemäß beschriebenen Verfahren erhältlich bzw. wird nach einem dort beschriebenen Verfahren hergestellt.

[0051] Insbesondere wird das mechanische Legieren derart durchgeführt, dass in dem pulverförmigen Verbundwerkstoff das Metall eine mittlere Korngröße bzw. Kristallitgröße zwischen 1 und 200 nm aufweist, wobei die Körner bzw. Kristallite des Metalls durch die Nanopartikel zumindest teilweise voneinander getrennt sind.

[0052] Das mechanische Legieren umfasst vorzugsweise ein Mahlen, insbesondere ein hochenergetisches Mahlen, welches z.B. unter Verwendung einer Kugelmühle mit einer Mahlkammer und darin frei beweglichen Kugeln als Mahlkörpern durchgeführt werden kann. Das mechanische Legieren kann ein wiederholtes Deformieren, Brechen und Zusammenschweißen der an der Legierung beteiligten Pulverpartikel umfassen. Die Mühle kann mit einer Drehzahl zwischen 350 und 1000 U/min, bevorzugt zwischen 500 und 800 U/min betrieben werden und die Mahlkammer kann in der Ebene senkrecht zur Rotationsachse einen Durchmesser von zwischen 250 und 1000 mm, bevorzugt etwa 500 mm aufweisen. Die Kugeln können auf eine Geschwindigkeit von wenigstens 5 m/s, bevorzugt wenigstens 8 m/s und ferner bevorzugt wenigstens 11 m/s beschleunigt werden. Die Mahldauer kann zwischen 45 und 240 Minuten, bevorzugt zwischen 90 und 120 Minuten betragen. Durch die Mahlwirkung lässt sich die Korngröße des Metalls verringern und gleichzeitig eine innige Verbindung zwischen dem Metall und den Nanopartikeln in herstellen. Die Nanopartikel können dabei so mit dem Metallmaterial verbunden werden, dass sie Körner des Metalls zumindest teilweise voneinander trennen oder teilweise sogar in die Körner des Metalls eingebracht werden.

[0053] Die Nanopartikel liegen vor dem mechanischen Legieren vorzugsweise in der Form eines Pulvers aus Agglomeraten von Nanopartikeln vor, insbesondere aus Büscheln oder Knäulen von miteinander verworrenen bzw. verhedderten Kohlenstoffnanoröhrchen. Dadurch lässt sich die Handhabbarkeit der Nanopartikel deutlich erhöhen und die für die Handhabung notwendigen Sicherheitsvorkehrungen vereinfachen. Vorzugsweise haben wenigstens 95 % der Agglomerate eine Größe von mehr als 100 μm.

[0054] Vorzugsweise werden die für das mechanische Legieren vorgesehenen Nanopartikel durch eine katalytische chemische Gasphasenabscheidung bzw. Catalytic Chemical Vapor Deposition, CCVD, hergestellt. Insbesondere können die Partikel durch ein z.B. in einem Wirbelschichtreaktor durchgeführtes Wirbelschichtverfahren erzeugt werden. Beispielhafte Verfahren zur Herstellung entsprechender Nanopartikel bzw. von Büscheln von Nanopartikeln sind in den vorstehend genannten Veröffentlichungen der Firma Bayer Technologies SA sowie in DE 10 2007 044 031 A1 beschrieben. Die dort beschriebenen Verfahren führen zu Kohlenstoffnanoröhrchen vom Multi-Scroll-Typ, welche aufgrund ihrer gekrümmten und kurvigen Längsform in besonders günstiger Weise die vorstehend beschriebenen zusammenhängenden Büschel bzw. Knäuel bilden. Beispielsweise können Baytubes® verwendet werden.

[0055] Vor dem mechanischen Legieren können die Kohlenstoffnanoröhrchen funktionalisiert werden, was eine Druckbeaufschlagung der Kohlenstoffnanoröhrchen derart umfassen kann, dass zumindest die äußerste Graphenlage wenigstens eines Teils der Kohlenstoffröhrchen aufbricht. Die Büschel können dabei mit einem Druck von wenigstens 5 MPa und bevorzugt wenigstens 7,5 MPa beaufschlagt werden.

[0056] Das bei dem mechanischen Legieren verwendete Metallpulver kann beispielsweise durch Zerstäuben einer Metallschmelze hergestellt werden. Vor oder nach der Herstellung des Pulvers kann eine Mischkristallverfestigung des Metalls erfolgen.

[0057] Weiterer Gegenstand der Erfindung ist eine Vakuumpumpe oder eine Komponente einer Vakuumpumpe, die nach dem hierin beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren erhältlich ist. Die vorstehend in Bezug auf das Verfahren beschriebenen vorteilhaften Ausführungsformen und Vorteile stellen bei entsprechender Anwendung vorteilhafte Ausführungsformen und Vorteile der nach dem Verfahren erhältlichen Vakuumpumpe bzw. Komponente dar.

[0058] Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung beispielhaft anhand einer vorteilhaften Ausführungsform unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 eine Vakuumpumpe gemäß einer Ausführungsform der Erfindung im Längsschnitt,

Fig. 2 einen Teil der in Fig. 1 gezeigten Vakuumpumpe in einer teilweise geschnittenen perspektivischen Ansicht,

Fig. 3 einen Wirbelschichtreaktor zu Verwendung in einem Verfahren gemäß einer Ausführungsform der Erfindung,

Fig. 4 eine geschnittene, perspektivische Ansicht eines mit dem Reaktor von Fig. 3 hergestellten Kohlenstoffnanoröhrchens,

Fig. 5 eine Vorrichtung zur Herstellung eines Metallpulvers zur Verwendung in dem Verfahren,

Fig. 6 eine Kugelmühle zur Verwendung in dem Verfahren, und

Fig. 7 einen Grundkörper zur Herstellung einer Komponente einer Vakuumpumpe gemäß einer Ausführungsform der Erfindung.

[0059] Fig. 1 zeigt eine als Turbomolekularpumpe ausgebildete Vakuumpumpe gemäß einer Ausführungsform der Erfindung. Das mehrteilige Gehäuse 10 der Vakuumpumpe umfasst an seiner Hochvakuumseite einen Flansch 12, mit dem die Vakuumpumpe an eine zu evakuierende Vakuumkammer anschließbar ist. Der Flansch 12 umgibt die Ansaugöffnung 14, durch welche die Vakuumpumpe Gas ansaugt.

[0060] Die Vakuumpumpe umfasst einen Rotor mit einer um eine Rotationsachse 16 der Vakuumpumpe drehbar gelagerten Rotorwelle 18, welche durch einen elektromotorischen Antrieb drehend antreibbar ist. Der Antrieb umfasst eine statorseitige Antriebsspule 20 und einen rotorseitigen Antriebsmagneten 22. Die Rotorwelle 18 ist durch zwei in Richtung der Rotationsachse 16 voneinander beabstandete, als Wälzlager ausgebildete Drehlager 24, 26 drehbar gelagert. Anstelle oder zusätzlich zu dem näher an der Ansaugöffnung 14 gelegenen Drehlager 26 könnte auch ein Permanentmagnetlager vorgesehen sein, welches im Bereich der Ansaugöffnung 14 der Pumpe angeordnet sein kann und schmiermittelfrei ausgebildet sein kann, um eine Verschmutzung der Vakuumkammer zu vermeiden.

[0061] Die Rotorwelle 18 trägt mehrere in radialer Richtung orientierte und mit Rotorschaufeln 28 versehene Rotorscheiben 30, die zwischen den an dem Gehäuse 10 festgelegten und ebenfalls mit Schaufeln versehenen Statorscheiben 32 angeordnet sind und sich mit diesen in axialer Richtung abwechseln. Die Rotor- und Statorscheiben 30, 32 bilden einen turbomolekularen Pumpenmechanismus, dessen Pumpwirkung das durch die Ansaugöffnung 14 angesaugte Gas zu dem Pumpenauslass 34 fördert. In Strömungsrichtung zwischen der Turbomolekularpumpstufe und dem Auslass 34 können prinzipiell noch weitere, insbesondere molekulare Pumpstufen, wie beispielsweise eine oder mehrere Holweck-Pumpstufen, Siegbahnpumpstufen oder Seitenkanalpumpstufen, vorgesehen sein, um ein gewünschtes Leistungsverhalten der Pumpe zu gewährleisten.

[0062] Fig. 2 zeigt einen Teil der Vakuumpumpe von Fig. 1 in einer teilweise geschnittenen perspektivischen Darstellung. Dargestellt ist eine Rotorscheibe 30 mit einem an der Rotorwelle 18 (Fig. 1) anzubringenden Tragring 36 und radial von dem Tragring 36 abstehenden Schaufeln 28, welche gegenüber der tangential zu der Rotationsachse 16 gerichteten Drehrichtung angestellte Oberflächen 40 umfassen, um einen in Förderrichtung gerichteten Impuls an die geförderten Gasmoleküle zu übertragen.

[0063] Die Rotorscheibe 30 ist in einem Stück aus einem Grundkörper herausgefräst und besteht aus einem Material, welches eine mit Kohlenstoffnanoröhrchen versetzte Aluminiumlegierung umfasst. Dadurch wird eine hohe Betriebslebensdauer der Vakuumpumpe auch bei hohen Gaslasten und Pumpleistungen gewährleistet.

[0064] Nachfolgend wird ein Verfahren zur Herstellung einer Vakuumpumpe gemäß einer Ausführungsform der Erfindung unter Bezugnahme auf Fig. 3 bis 7 beschrieben.

[0065] Fig. 3 zeigt einen Wirbelschichtreaktor 42 zur Herstellung von Kohlenstoffnanoröhrchen durch katalytische chemische Gasphasenabscheidung, CCVD, als Ausgangsmaterial für das Verfahren. Der Reaktor 42 wird durch eine Heizvorrichtung 44 beheizt. Der Reaktor 42 weist an seinem unteren Ende einen Einlass 46 zur Zuführung von Inertgasen und Reaktandengasen, eine obere Auslassöffnung 48 für das Entweichen von Stickstoff, Inertgas und Nebenprodukten des Reaktors 42, einen Katalysatoreinlass 50 zur Zuführung eines Katalysators und eine Entnahmeöffnung zur Entnahme der hergestellten Kohlenstoffnanoröhrchen auf.

[0066] Zur Herstellung der Nanoröhrchen wird zunächst Stickstoff als Inertgas über den unteren Einlass 46 zugeführt und der Reaktor 42 durch die Heizvorrichtung 44 auf eine Temperatur von etwa 650 °C aufgeheizt. Danach wird der Katalysator in Form von Partikel-Agglomeraten 54 mit einer Partikelgröße zwischen 30 und 100 μm durch den oberen Einlass 50 zugeführt, wobei es sich vorzugsweise um einen Übergangsmetallkatalysator auf der Basis von Cobalt oder Mangan handelt und das molare Massenverhältnis von Cobalt zu Mangan z.B. zwischen 2:3 und 3:2 liegt. Als nächstes wird der gasförmige Reaktand 56 über den unteren Einlass 46 zugeführt, welcher ein Kohlenwasserstoffgas als Kohlenstoffspender und ein Inertgas umfasst. Das Verhältnis von Reaktandengas zu Inertgas kann etwa 9:1 betragen.

[0067] Bei dem Wirbelschichtverfahren wird an den Katalysatorpartikeln Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffnanoröhrchen mit einer Multi-Scroll-Struktur mit einer gekrümmten kurvigen Längsform abgeschieden, wobei eine Vielzahl der Röhrchen zusammenhängende Büschel bzw. Knäuel mit einem durchschnittlichen Durchmesser zwischen 0,05 und 5 mm bilden, die als Pulver über die Entnahmeöffnung 52 entnommen werden können.

[0068] Fig. 4 zeigt einen Ausschnitt eines in der vorstehend beschriebenen Weise hergestellten, quergeschnittenen Kohlenstoffnanoröhrchens. Das Kohlenstoffnanoröhrchen umfasst mehrere in Fig. 4 nur schematisch dargestellte Graphenlagen 58, die zur Bildung des röhrenförmigen Querschnitts ineinander gerollt sind. Aufgrund dieser Querschnittsform nehmen die Röhrchen einen die Bildung von Knäueln begünstigenden kurvigen bzw. gekrümmten Verlauf an und gehen bei der späteren Verarbeitung eine besonders innige Verbindung mit dem Metallmaterial ein.

[0069] Die entnommenen Knäuel werden durch eine Druckbeaufschlagung mit etwa 9,8 MPa funktionalisiert. Durch die Druckbeaufschlagung brechen zumindest die

äußersten Lagen 58 der einzelnen Kohlenstoffnanoröhrchen teilweise auf, wodurch deren Oberfläche gewissermaßen aufgerauht wird und eine noch innigere Verbindung mit dem Metall ermöglicht wird.

[0070] Fig. 5 zeigt eine Vorrichtung zur Herstellung eines Metallpulvers. Die Vorrichtung umfasst eine Schmelzkammer 60, die eine geschmolzene Aluminiumlegierung enthält. Das Metall wird durch den Druck eines Argon-Antriebsgases 62 durch eine Düse 64 in eine Kammer 66 gesprüht und dabei zerstäubt. In der Kammer 66 wird das zerstäubte Metall durch ein Argongas abgeschreckt, das durch eine weitere Düse 68 in die Kammer 66 gesprüht wird, wobei die zerstäubten Metalltropfen zu Partikeln verfestigt werden, die sich an dem Boden der Kammer 66 als Metallpulver sammeln.

[0071] Fig. 6 zeigt eine Kugelmühle zum mechanischen Legieren des in der vorstehend beschriebenen Weise hergestellten Pulvers aus Kohlenstoffnanoröhrchen mit dem Metallpulver. Die Mühle umfasst eine Kammer 70, in der ein Rotor um eine senkrecht zur Zeichenebene orientierte Rotationsachse in Richtung eines Pfeils 76 drehend antreibbar ist. Der Rotor umfasst mehrere in Achsenrichtung hintereinander angeordnete Paare von Armen 72, wobei die äußeren Enden der Arme 72 während des Betriebs eine Geschwindigkeit von wenigstens 8 m/s oder wenigstens 11 m/s erreichen können, wodurch die in der Kammer 70 vorgesehenen harten Metallkugeln 74 entsprechend beschleunigt werden.

[0072] Zur Herstellung der mechanischen Legierung wird die Kammer 70 mit dem Pulver aus den Knäueln von Kohlenstoffnanoröhrchen und dem Metallpulver gefüllt. Während des Mahlens führen die Stöße zwischen den Kugeln 74 dazu, dass das zwischen den Kugeln 74 vorhandene Material, d.h. die Metallpartikel und die Kohlenstoffnanoröhrchen, wiederholt verformt, gebrochen und miteinander verschweißt werden, so dass die Kohlenstoffnanoröhrchen in den Metallpartikeln eingeschweißt werden und ein pulverförmiger Verbundwerkstoff resultiert, dessen Partikel das Metall und die Kohlenstoffnanoröhrchen enthalten. Das Metall und die Kohlenstoffnanoröhrchen sind in den Partikeln miteinander verschweißt und bilden eine Legierung, wobei sich eine im Wesentlichen homogene Verteilung der Kohlenstoffnanoröhrchen in den metallischen Partikeln ergibt. Die Korngröße des Metalls wird durch das Mahlen verringert und die Kohlenstoffnanoröhrchen werden so in das Metall eingebettet, dass sich diese entlang der Korngrenzen des Metalls erstrecken oder auch innerhalb von Metallkörnern eingebettet sind.

[0073] Aus dem resultierenden pulverförmigen Verbundwerkstoff wird durch ein pulvermetallurgisches Verfahren wie z.B. durch Strangpressen ein fester Körper erzeugt, welcher als Grundkörper für die Rotorscheiben der Vakuumpumpe dient.

[0074] Fig. 7 zeigt einen auf diese Weise hergestellten, im Wesentlichen zylinderförmigen Grundkörper 78. Zur Herstellung einer Rotorscheibe kann eine der scheibenförmigen Grundform der Rotorscheibe entsprechende Scheibe von dem Grundkörper 78 abgeschnitten werden, die dann durch Ausfräsen eines Tragrings und der sich daran radial anschließenden Schaufeln zu einer Rotorscheibe verarbeitet werden kann. Anstatt einer einzelnen Rotorscheibe könnte z.B. auch ein Glockenrotor hergestellt werden.

Bezugszeichenliste

[0075]

10	Gehäuse
12	Flansch
14	Ansaugöffnung
16	Rotationsachse
18	Rotorwelle
20	Antriebsspule
22	Antriebsmagnet
24, 26	Drehlager
28	Rotorschaufel
30	Rotorscheibe
32	Statorscheibe
34	Pumpenauslass
36	Tragring
40	angestellte Oberfläche
42	Wirbelschichtreaktor
44	Heizvorrichtung
46	Einlass
48	Auslassöffnung
50	Katalysatoreinlass
52	Entnahmeöffnung
54	Katalysator-Partikelagglomerat
56	Reaktand
58	Graphenlage
60	Schmelzkammer
62	Antriebsgas
64	Düse
66	Kammer
68	Düse
70	Kammer
72	Arm
74	Kugel
76	Pfeil
78	Grundkörper

Patentansprüche

1. Vakuumpumpe,
wobei wenigstens eine Komponente (30) der Vakuumpumpe ein Material umfasst oder daraus besteht, welches ein Metall und Nanopartikel enthält,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Material zwischen 0,5 bis 10 Gew.-% Nanopartikel enthält.

2. Vakuumpumpe nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass

ein Stator und wenigstens ein Rotororgan (30) vorgesehen sind, wobei das Rotororgan (30) gegenüber dem Stator drehbar gelagert ist.

3. Vakuumpumpe nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Metall ein Leichtmetall wie z.B. Aluminium und insbesondere eine Aluminiumlegierung vom Typ 5083 oder 2618 umfasst.

4. Vakuumpumpe nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Material zwischen 1 und 9 Gew.-% und bevorzugt zwischen 2 und 4 Gew.-% Nanopartikel enthält.

5. Vakuumpumpe nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Metall Körner mit einer mittleren Korngröße zwischen 1 und 400 nm, insbesondere zwischen 1 und 200 nm bildet, wobei vorzugsweise die Körner durch die Nanopartikel zumindest teilweise voneinander getrennt sind.

6. Vakuumpumpe nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Nanopartikel ein Aspektverhältnis von wenigstens 3, bevorzugt wenigstens 10 und besonders bevorzugt wenigstens 30 aufweisen.

7. Vakuumpumpe nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
als Nanopartikel Kohlenstoffnanoröhrchen vorgesehen sind, die eine Scroll-Struktur mit mehreren aufgerollten Graphitschichten aufweisen, wobei jede Graphitschicht zwei oder mehr aufeinander angeordnete Graphenlagen (58) umfasst.

8. Vakuumpumpe nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Material durch ein pulvermetallurgisches Verfahren aus einem ein Metall und Nanopartikel enthaltenden pulverförmigen Verbundwerkstoff erhältlich ist, wobei der pulverförmige Verbundwerkstoff vorzugsweise durch ein mechanisches Legieren eines Metallpulvers mit Nanopartikeln erhältlich ist.

9. Vakuumpumpe nach einem der vorstehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Komponente ein Rotororgan der Vakuumpumpe ist und insbesondere eine Rotorscheibe (30) einer turbomolekularen Pumpstufe der Vakuumpumpe umfasst oder daraus besteht.

10. Vakuumpumpe nach Anspruch 9,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Rotorscheibe (30) mehrere Rotorschaufeln (28) umfasst, die jeweils ganz oder teilweise aus dem Material bestehen.

11. Verfahren zur Herstellung einer Vakuumpumpe, insbesondere nach einem
der vorstehenden Ansprüche, welches umfasst, dass wenigstens eine Komponente (30) der Vakuumpumpe zumindest teilweise aus einem Material hergestellt wird, welches ein Metall und Nanopartikel enthält, **dadurch gekennzeichnet, dass**
das Material zwischen 0,5 bis 10 Gew.-% Nanopartikel enthält.

12. Verfahren nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Bilden der Komponente (30) eine mechanische Bearbeitung eines zumindest teilweise aus dem Material gebildeten Grundkörpers (78) für die Komponente umfasst, wobei die Bearbeitung insbesondere eine materialentfernende Bearbeitung umfasst.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12,
dadurch gekennzeichnet, dass
ein pulverförmiger Verbundwerkstoff bereitgestellt wird, welcher ein Metall und Nanopartikel enthält, und
der pulverförmige Verbundwerkstoff durch ein pulvermetallurgisches Verfahren zu der Komponente oder einem Grundkörper für die Komponente (30) verarbeitet wird.

14. Verfahren nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Bereitstellen des pulverförmigen Verbundwerkstoffs ein mechanisches Legieren eines Metallpulvers mit Nanopartikeln umfasst, wobei das Legieren insbesondere derart durchgeführt wird, dass in dem pulverförmigen Verbundwerkstoff das Metall eine mittlere Korngröße zwischen 1 und 200 nm aufweist, wobei die Körner des Metalls durch die Nanopartikel zumindest teilweise voneinander getrennt sind.

15. Vakuumpumpe, erhalten oder erhältlich nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 11 bis 14.

Claims

1. A vacuum pump,
wherein at least one component (30) of the vacuum pump comprises or consists of a material which includes a metal and nanoparticles,
characterized in that
the material includes between 0.5 to 10% by weight of nanoparticles.

2. A vacuum pump in accordance with claim 1, **characterized in that** a stator and at least one rotor member (30) are provided, with the rotor member (30) being rotatably supported with respect to the stator.

3. A vacuum pump in accordance with claim 1 or claim 2, **characterized in that** the metal comprises a light metal such as aluminum and in particular an aluminum alloy of the type 5083 or 2618.

4. A vacuum pump in accordance with any one of the preceding claims, **characterized in that** the material includes between 1 and 9% by weight, and preferably between 2 and 4% by weight, of nanoparticles.

5. A vacuum pump in accordance with any one of the preceding claims, **characterized in that** the metal forms grains having a mean grain size between 1 and 400 nm, in particular between 1 and 200 nm, with the grains preferably being at least partly separated from one another by the nanoparticles.

6. A vacuum pump in accordance with any one of the preceding claims, **characterized in that** the nanoparticles have an aspect ratio of at least 3, preferably of at least 10, and particular preferably of at least 30.

7. A vacuum pump in accordance with any one of the preceding claims, **characterized in that** carbon nanotubes are provided as nanoparticles and have a scroll structure comprising a plurality of rolled-up graphite layers, with each graphite layer comprising two or more graphene layers (58) arranged above one another.

8. A vacuum pump in accordance with any one of the preceding claims, **characterized in that** the material can be obtained from a powdery composite material including a metal and nanoparticles by a powder-metallurgical process, with the powdery composite material preferably being able to be obtained by a mechanical alloying of a metal powder with nanoparticles.

9. A vacuum pump in accordance with any one of the preceding claims, **characterized in that** the component is a rotor member of the vacuum pump and in particular comprises or consists of a rotor disk (30) of a turbomolecular pump stage of the vacuum pump.

10. A vacuum pump in accordance with claim 9, **characterized in that** the rotor disk (30) comprises a plurality of rotor vanes (28) which each completely or partly comprise the material.

11. A method of manufacturing a vacuum pump, in particular in accordance with any one of the preceding claims, which comprises at least one component (30) of the vacuum pump at least partly being manufactured from a material which includes a metal and nanoparticles, **characterized in that** the material includes between 0.5 to 10% by weight of nanoparticles.

12. A method in accordance with claim 11, **characterized in that** the formation of the component (30) comprises a mechanical machining of a base body (78), at least partly formed from the material, for the component, with the machining in particular comprising a material-removing machining.

13. A method in accordance with claim 11 or claim 12, **characterized in that** a powdery composite material is provided which includes a metal and nanoparticles; and **in that** the powdery composite material is processed into the component or into a base body for the component (30) by a powder-metallurgical process.

14. A method in accordance with claim 13, **characterized in that** the provision of the powdery composite material comprises a mechanical alloying of a metal powder with nanoparticles, with the alloying in particular being carried out such that the metal has a mean grain size between 1 and 200 nm in the powdery composite material, with the grains of the metal being at least partly separated from one another by the nanoparticles.

15. A vacuum pump which is obtained or can be obtained in accordance with a method in accordance with any one of the claims 11 to 14.

Revendications

1. Pompe à vide, dans laquelle au moins un composant (30) de la pompe à vide comprend ou est constitué en un matériau qui contient un métal et des nanoparticules, **caractérisée en ce que**

le matériau contient de 0,5 à 10 % en poids de nanoparticules.

2. Pompe à vide selon la revendication 1,
caractérisée en ce que
il est prévu un stator et au moins un organe formant rotor (30), l'organe formant rotor (30) étant monté mobile en rotation par rapport au stator.

3. Pompe à vide selon la revendication 1 ou 2,
caractérisée en ce que
le métal comprend un métal léger, tel que par exemple de l'aluminium et en particulier un alliage d'aluminium du type 5083 ou 2618.

4. Pompe à vide selon l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
le matériau comprend entre 1 et 9 % en poids et de préférence entre 2 et 4 % en poids de nanoparticules.

5. Pompe à vide selon l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
le métal forme des grains d'une granulométrie moyenne comprise entre 1 et 400 nm, en particulier entre 1 et 200 nm, les grains étant de préférence séparés au moins partiellement les uns des autres par les nanoparticules.

6. Pompe à vide selon l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
les nanoparticules présentent un rapport d'aspect d'au moins 3, de préférence d'au moins 10 et de manière particulièrement préférée d'au moins 30.

7. Pompe à vide selon l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
en tant que nanoparticules, il est prévu des nanotubes de carbone qui présentent une structure de volute avec plusieurs couches de graphite enroulées, chaque couche de graphite comprenant deux ou plusieurs couches de graphène (58) superposées.

8. Pompe à vide selon l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
le matériau est susceptible d'être obtenu par un procédé de métallurgie des poudres à partir d'un matériau composite en poudre contenant du métal et des nanoparticules, le matériau composite en poudre pouvant être obtenu de préférence par un alliage mécanique d'une poudre métallique avec des nanoparticules.

9. Pompe à vide selon l'une des revendications précédentes,
caractérisée en ce que
le composant est un organe formant rotor de la pompe à vide et comprend ou est constitué en particulier d'un disque rotor (30) d'un étage de pompe turbomoléculaire de la pompe à vide.

10. Pompe à vide selon la revendication 9,
caractérisée en ce que
le disque rotor (30) comprend plusieurs aubes de rotor (28) qui sont constituées chacune entièrement ou partiellement en ledit matériau.

11. Procédé pour réaliser une pompe à vide, en particulier selon l'une des revendications précédentes, qui inclut qu'au moins un composant (30) de la pompe à vide est fabriqué au moins partiellement en un matériau qui comprend un métal et des nanoparticules,
caractérisé en ce que
le matériau comprend entre 0,5 et 10 % en poids de nanoparticules.

12. Procédé selon la revendication 11,
caractérisé en ce que
la formation du composant (30) inclut un traitement mécanique d'un corps de base (78) pour le composant, formé au moins partiellement en ledit matériau, le traitement incluant en particulier un usinage par enlèvement de matière.

13. Procédé selon la revendication 11 ou 12,
caractérisé en ce que
on prépare un matériau composite en poudre qui comprend un métal et des nanoparticules, et
le matériau composite en poudre est transformé en le composant ou en un corps de base pour le composant (30) par un procédé de métallurgie des poudres.

14. Procédé selon la revendication 13,
caractérisé en ce que
la réalisation du matériau composite en poudre inclut un alliage mécanique d'une poudre métallique avec des nanoparticules, l'alliage étant mis en oeuvre en particulier de telle sorte que dans le matériau composite en poudre, le métal présente une granulométrie moyenne comprise entre 1 et 200 nm, les grains du métal étant séparés au moins partiellement les uns des autres par les nanoparticules.

15. Pompe à vide obtenue ou susceptible d'être obtenue par un procédé selon l'une des revendications 11 à 14.

Fig. 1

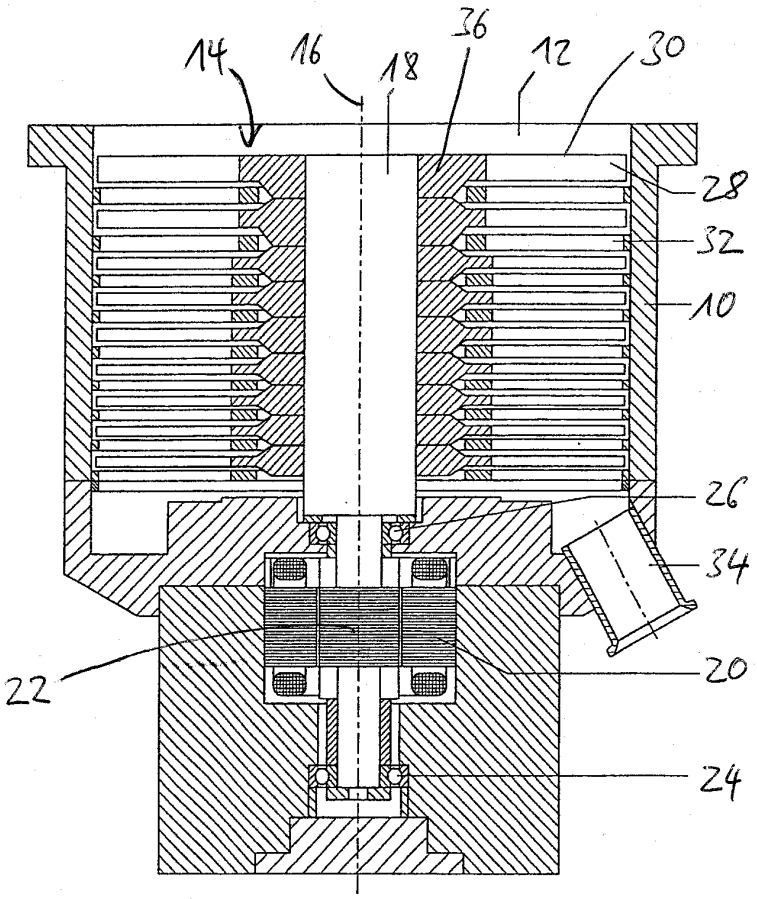


Fig. 2

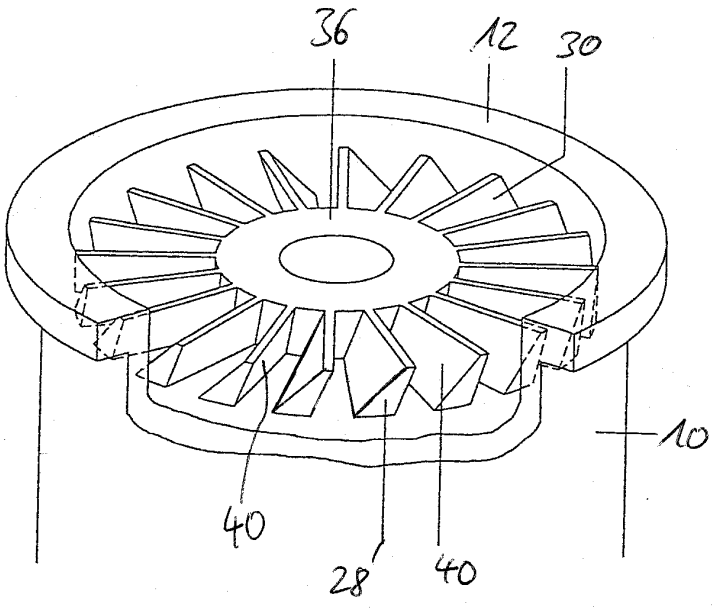


Fig. 3

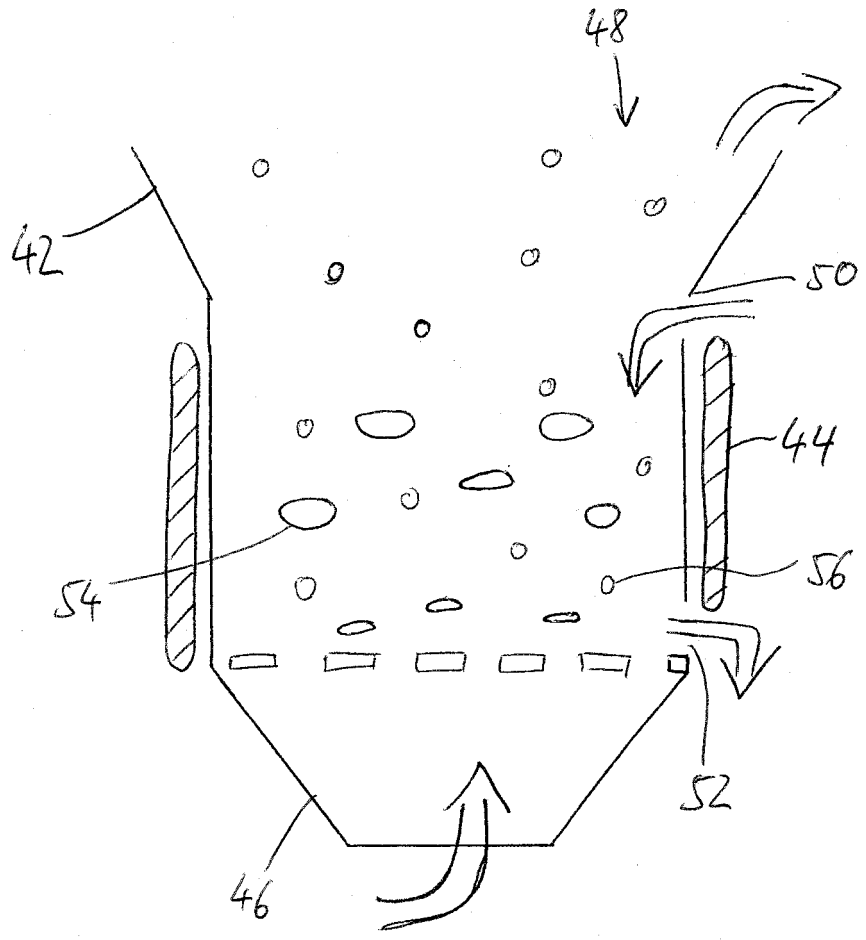


Fig. 4

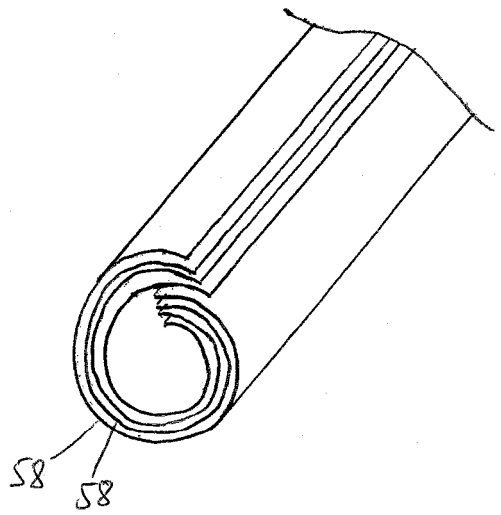


Fig. 5

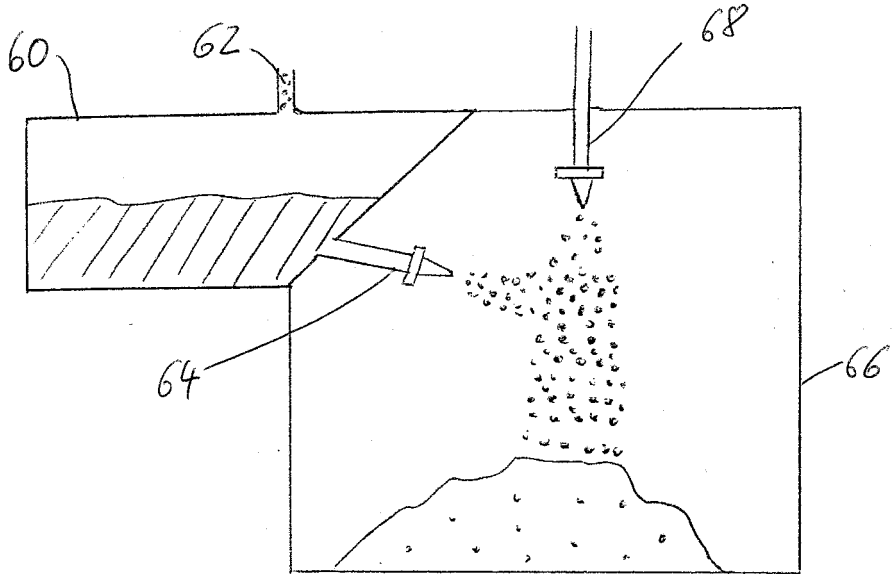


Fig. 6

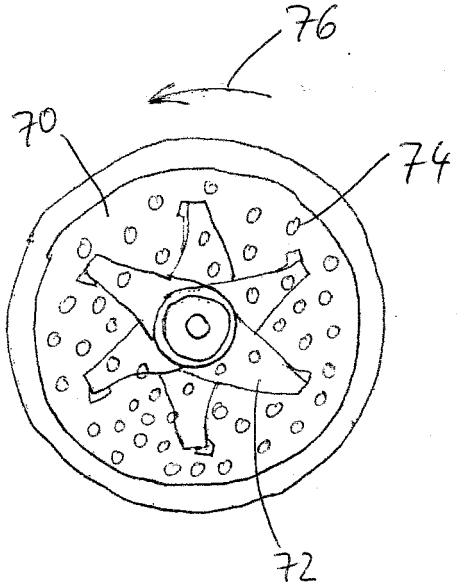
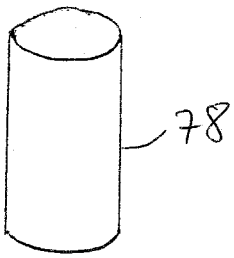


Fig. 7



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

- US 6095754 A **[0004]**
- WO 2007125104 A1 **[0004]**
- WO 2007022332 A2 **[0006]**
- DE 60030833 T2 **[0007]**
- DE 102010021240 A1 **[0008]**
- DE 10053663 A1 **[0009]**
- GB 2490127 A **[0010]**
- WO 2008130739 A1 **[0011]**
- DE 102008025700 A1 **[0012]**
- DE 102007044031 A1 **[0027] [0054]**
- WO 2010091790 A1 **[0033]**
- WO 2010091704 A1 **[0033]**
- WO 2010102655 A2 **[0033]**
- WO 2010091789 A1 **[0033]**
- WO 2010091791 A1 **[0033]**
- WO 2011032791 A1 **[0033]**

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **IIJIMA.** *Nature,* 1991, vol. 354, 56-58 **[0026]**
- **BACON.** *Journal of Applied Physics,* 1960, vol. 34, 283-90 **[0026]**