



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 118 652.2**

(22) Anmeldetag: **16.08.2017**

(43) Offenlegungstag: **21.02.2019**

(51) Int Cl.: **H05H 1/46 (2006.01)**

H05H 1/24 (2006.01)

(71) Anmelder:
**Hochschule für angewandte Wissenschaft und
Kunst Hildesheim/Holzminden/Göttingen, 31134
Hildesheim, DE**

(74) Vertreter:
**REHBERG HÜPPE + PARTNER Patentanwälte
PartG mbB, 37073 Göttingen, DE**

(72) Erfinder:
**Viöl, Wolfgang, Prof. Dr., 37139 Adelebsen, DE;
Wieneke, Stephan, Prof. Dr., 37079 Göttingen, DE;
Gredner, Alexander, 37133 Friedland, DE; Freier,
Daniel, 37120 Bovenden, DE**

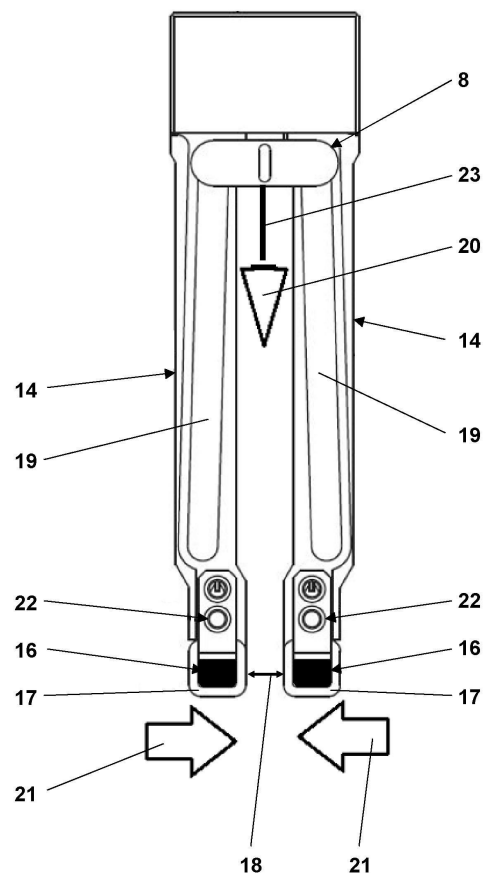
(56) Ermittelte Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Plasmageneratormodul und dessen Verwendung**

(57) Zusammenfassung: Ein Plasmageneratormodul (1) zum Generieren eines physikalischen Plasmas durch dielektrisch behinderte Entladung (27) bei Atmosphärendruck weist zwei linear langgestreckte Elektroden (16), von denen mindestens eine mit einer dielektrischen Abschirmung versehen ist und die in einem seitlichen Elektrodenabstand (18) parallel zueinander verlaufen, Anschlusseinrichtungen zum Anschließen der Elektroden (16) an eine Hochspannungsquelle (24) und zwei flächigen Gasleitelemente zum Leiten von Arbeitsgas zwischen die Elektroden (16) auf. Mindestens eine der beiden Elektroden (16) ist so an einem ersten Ende eines der beiden Gasleitelemente gelagert, dass die mindestens eine der beiden Elektroden (16) zusammen mit dem ersten Ende des einen der beiden Gasleitelemente gegenüber der anderen der beiden Elektroden (16) und dem anderen der beiden Gasleitelemente in Richtung des Elektrodenabstands (18) verlagerbar ist, wodurch der Elektrodenabstand (18) für die Ausbildung geometrisch unterschiedlicher Entladungsformen auf unterschiedliche Werte einstellbar ist.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2008 018 827	A1
DE	10 2013 109 887	A1
DE	10 2013 113 941	A1
US	2008 / 0 061 035	A1
WO	01/ 54 464	A1
WO	2010/ 083 040	A1
WO	2011/ 095 245	A1
WO	2014/ 093 513	A1
WO	2015/ 164 760	A1
CN	204 598 448	U

EHLBECK, J. [u.a.]: Low temperature atmospheric pressure plasma sources for microbial decontamination. In: Journal of Physics D: Applied Physics. 2011, Vol. 44, No. 1, ArtikelNr. 013002, S. 1-18. ISSN 1361-6463 (E); 0508-3443 (P). DOI: 10.1088/0022-3727/44/1/013002. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3727/44/1/013002/pdf> [abgerufen am 2018-02-15]

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET DER ERFINDUNG

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Plasmageneratormodul zum Generieren eines physikalischen Plasmas durch dielektrisch behinderte Entladung bei Atmosphärendruck. Weiterhin bezieht sich die Erfindung auf ein Modularray aus solchen Plasmageneratormodulen sowie auf die Verwendung eines solchen Plasmageneratormoduls oder eines solchen Modularrays.

[0002] Spezieller betrifft die Erfindung ein Plasmageneratormodul mit zwei linear langgestreckten Elektroden, von denen mindestens eine mit einer dielektrischen Abschirmung versehen ist und die in einem seitlichen Elektrodenabstand parallel zueinander verlaufen, mit Anschlusseinrichtungen zum Anschließen der Elektroden an eine Hochspannungsquelle und mit zwei flächigen Gasleitelementen zum Leiten von Arbeitsgas zwischen die Elektroden.

STAND DER TECHNIK

[0003] Aus J. Ehlbeck et al.: Low Temperature Atmospheric Pressure Plasma Sources for Microbial Decontamination, Journal of Physics D: Applied Physics, IOP Publishing, 2011, 44 (1), pp. 13002 (<https://hdl.archives-ouvertes.fr/hal-00585169>) sind verschiedene Anordnungen von Elektroden bekannt, um durch Anlegen einer Wechselhochspannung in unterschiedlichen Entladungsformen eine dielektrisch behinderte Entladung hervorzurufen, die ein physikalisches Plasma bei Atmosphärendruck generiert. Zu den unterschiedlichen Entladungsformen zählen eine direkte dielektrisch behinderte Entladung zwischen einer Elektrode und einem geerdeten Objekt, wobei die an der Elektrode anliegende Wechselhochspannung gegenüber Erde generiert wird, eine dielektrisch behinderte Entladung zwischen zwei Elektroden, zwischen denen die Wechselhochspannung angelegt wird, wobei das so generierte Plasma als Plasmajet ausgeblasen wird, und eine koplanare Gleitentladung zwischen einer ersten Elektrode und einem Objekt sowie zwischen dem Objekt und einer zweiten Elektrode, wobei die Wechselhochspannung ebenfalls zwischen den Elektroden angelegt wird aber eine direkte dielektrisch behinderte Entladung zwischen den Elektroden zum Beispiel durch eine zusätzliche dazwischen angeordnete Blende aus Dielektrikum verhindert wird.

[0004] Je nach Art einer zu beseitigenden mikrobiellen Kontamination beziehungsweise des kontaminierten Objekts kann die eine oder die andere Entladungsform zum Generieren eines dekontaminierenden Plasmas besonders geeignet sein.

[0005] Die Behandlung großflächiger Objekte kann es zudem notwendig machen, große Elektroden vorzusehen, um das physikalische Plasma großflächig zu generieren. Dabei erweist es sich jedoch als schwierig, die dielektrisch behinderte Entladung gleichmäßig über alle Bereiche der großen Elektroden hinweg hervorzurufen.

[0006] Aus der WO 2014/093513 A1 ist eine Kaltplasma-Vorrichtung zur Keimabtötung auf Lebensmitteloberflächen bekannt, die sowohl eine Elektrodenanordnung für eine Gleitentladung als auch eine Elektrodenanordnung für einen Plasmajet umfasst.

[0007] Aus der WO 2011/095245 A1 ist ein Plasmagenerator zur Erzeugung eines Plasmastrahls bekannt, dessen Elektrodenanordnung auch zum Generieren einer direkten dielektrisch behinderten Entladung gegenüber einem zu behandelten Objekt verwendet werden kann.

[0008] Die WO 2015/164760 A1 beschreibt eine Behandlung/Entkeimung von fließendem Wasser mittels einer ein physikalisches Plasma generierenden Entladung. Die Entladung unter Ozonbildung wird mit einem Marx-Hochspannungsgenerator hervorgehoben. Dieser umfasst eine Reihe von parallel geschalteten Elektrodenpaaren, um eine Koronaentladung in einer Plasmakammer zu zünden. Dabei ist der Abstand der Elektroden jedes Paares, der etwa 15 bis 40 mm betragen soll, einstellbar.

[0009] Die WO 0154464 A1 offenbart einen Dreiphasenplasmagenerator mit einstellbaren Elektroden zum Erzeugen eines heißen Plasmastrahls. Die Elektroden sind einstellbar, um auch bei auftretendem Verschleiß einen Abstand und eine Konfiguration der Elektroden konstant zu halten.

[0010] Die WO 2010/083040 A1 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zur kontinuierlichen Herstellung von Nano- und Mikropartikeln, zum Beispiel Kolloiden, in Flüssiglösungen. Die Partikel werden in einer Flüssigkeit, zum Beispiel Wasser als aktives Dielektrikum, mit einem einstellbaren Plasma und einer einstellbaren elektrochemischen Verarbeitungstechnik erzeugt. Zur Einstellung des Plasmas ist eine vertikale Höhe von Elektroden gegenüber einer Oberfläche der Flüssigkeit verstellbar.

[0011] In der CN 204 598 448 U ist eine fernbedienbare Einstellvorrichtung offenbart, mit der ein Abstand von Elektroden bei einer Vorrichtung zum Generieren eines physikalischen Plasmas durch dielektrisch behinderte Entladung mit fester Entladungsform veränderbar ist.

AUFGABE DER ERFINDUNG

[0012] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Plasmageneratormodul zum Generieren eines physikalischen Plasmas durch die dielektrisch behinderte Entladung bei Atmosphärendruck aufzuzeigen, mit dem sich wechselweise verschiedene Entladungsformen realisieren lassen und unter dessen Verwendung auch sehr großflächige Objekte einer Plasmabehandlung unterzogen werden können.

LÖSUNG

[0013] Die Aufgabe der Erfindung wird durch ein Plasmageneratormodul mit den Merkmalen des unabhängigen Patentanspruchs 1 gelöst. Die abhängigen Patentansprüche 2 bis 10 betreffen bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Plasmageneratormoduls. Der Patentanspruch 11 ist auf eine Modularray von erfindungsgemäßen Plasmageneratormodulen gerichtet, und die Patentansprüche 12 und 13 betreffen Verwendungen des erfindungsgemäßen Plasmageneratormoduls oder des erfindungsgemäßen Modularrays.

BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0014] Bei einem erfindungsgemäßen Plasmageneratormodul zum Generieren eines physikalischen Plasmas durch elektrisch behinderte Entladung bei Atmosphärendruck mit zwei linear langgestreckten Elektroden, von denen mindestens eine mit einer dielektrischen Abschirmung versehen ist und die in einem seitlichen Elektrodenabstand parallel zueinander verlaufen, mit Anschlusseinrichtungen zum Anschließen der Elektroden an eine Hochspannungsquelle und mit zwei flächigen Gasleitelementen zum Leiten von Arbeitsgas zwischen die Elektroden ist mindestens eine der Elektroden so an einem ersten Ende eines der beiden Gasleitelemente gelagert, dass die mindestens eine der beiden Elektroden zusammen mit dem ersten Ende des anderen der beiden Gasleitelemente gegenüber der anderen der beiden Elektroden und dem anderen der beiden Gasleitelemente in Richtung des Elektrodenabstands verlagerbar ist, wodurch der Elektrodenabstand für die Ausbildung geometrisch unterschiedlicher Entladungsformen auf unterschiedliche Werte einstellbar ist.

[0015] Bei dem erfindungsgemäßen Plasmagenerator ist also eine solche Einstellbarkeit des seitlichen Elektrodenabstands gegeben, dass unter Verwendung derselben Elektroden geeignete Voraussetzungen für die Ausbildung geometrisch unterschiedlicher Entladungsformen geschaffen werden können. Dabei werden zugleich die Gasleitelemente zum Leiten des Arbeitsgases zwischen die Elektroden modifiziert. Beides wird gleichzeitig dadurch erreicht, dass zumindest eine der beiden Elektroden an dem unteren

Ende eines der beiden Gasleitelemente der Gasleiteinrichtung gelagert ist und zusammen mit diesem gegenüber der anderen der Elektroden verlagert wird.

[0016] Es versteht sich, dass bei dem erfindungsgemäßen Plasmagenerator auch beide Elektroden jeweils mit einer dielektrischen Abschirmung versehen sein können, worunter insbesondere zu verstehen ist, dass sie direkt von einem Dielektrikum umschlossen sind. Ebenso sind vorzugsweise auch beide Elektroden an jeweils einem ersten Ende eines der beiden Gasleitelemente so gelagert, dass die beiden Elektroden jeweils zusammen mit dem ersten Ende des jeweiligen Gasleitelements relativ zueinander in Richtung des Elektrodenabstands verlagerbar sind.

[0017] Die Verlagerbarkeit der jeweiligen Elektrode kann dadurch realisiert sein, dass das Gasleitelement mit seinem dem ersten Ende gegenüberliegenden zweiten Ende in einem einachsigen Schwenklager an einer Grundstruktur des Plasmageneratormoduls gelagert ist oder starr an der Grundstruktur gelagert ist und selbst ein einachsiges Festkörpergelenk ausgebildet, so dass die Elektrode mit dem ersten Ende des Gasleitelements um das Schwenklager oder das Festkörpergelenk herum verschwenkbar ist.

[0018] Die oberen Ende der Gasleitelemente liegen in jedem Fall ortsfest an der Grundstruktur des Plasmageneratormoduls, und ein gegenüber der Grundstruktur ortsfester Gaszuführungskanal, der das Arbeitsgas zuführt, kann dort zwischen die beiden Gasleitelemente einmünden.

[0019] Um die Elektroden relativ zueinander zu verlagern, können an Seitenkanten der Gasleitelemente, an denen jeweils eine verlagerbare Elektrode gelagert ist, zwei Schieber angreifen, die bei ihrem Verschieben längs einer quer zu den Elektroden verlaufenden Führung den Elektrodenabstand verändern. Wenn beide Elektroden gegenüber der Grundstruktur verlagerbar sind, können diese Schieber an beiden Gasleitelementen angreifen, und die Schieber können in einer zwischen den Gasleitelementen verlaufenden Haupttrichtung verschoben werden.

[0020] Wenn das erfindungsgemäße Plasmageneratormodul eine zusätzliche dielektrische Blende aufweist, die aus einer inaktiven Position zwischen den Gasleitelementen in eine aktive Position zwischen den Elektroden und zurück überführbar ist, kann diese dielektrische Blende an die Schieber gekoppelt sein. Dies bedeutet, dass beim Verschieben der Schieber auf die Elektroden zu, die dielektrische Blende zwischen die Elektroden verschoben wird.

[0021] An mindestens eine der beiden Elektroden des erfindungsgemäßen Plasmageneratormoduls kann auf deren der anderen Elektrode abgekehr-

ten Außenseite eine schlitzförmige Mündung eines Absaugkanals angrenzen, der sich auf dessen Rückseite über das an die Elektrode anschließende Gasleitelement erstreckt. Dieser Absaugkanal schließt über den Bereich vor den Elektroden hinweg an den von den Gasleitelementen verlängerten Gaszuführkanal an. Der Absaugkanal kann damit genutzt werden, um eine gezielte Durchströmung dieses Bereichs vor den Elektroden, in dem eine Plasmabehandlung mit dem erfindungsgemäßen Plasmageneratormodul typischerweise erfolgt, zu erreichen. Diese Durchströmung mit Arbeitsgas kann sicherstellen, dass eine gewünschte Zusammensetzung des Arbeitsgases trotz der in dem Plasma erfolgenden Reaktionen aufrechterhalten wird. Zudem wird verhindert, dass Reaktionsprodukte aus dem Plasma unkontrolliert in die Umgebung des Plasmageneratormoduls gelangen. Weiterhin bewirkt die Umströmung der Elektroden des erfindungsgemäßen Plasmageneratormoduls in den oder die Absaugkanäle hinein eine fortlaufende Kühlung der Elektroden und ihrer dielektrischen Abschirmungen.

[0022] Das Arbeitsgas des erfindungsgemäßen Plasmageneratormoduls kann Luft sein. Die Luft kann an einer den Elektroden abgewandten Seite des Plasmageneratormoduls aus der Umgebung über den Gaszuführkanal zwischen die Gasleitelemente eintreten. Dieses Eintreten kann dabei durch ein aktives Ansaugen der Luft über den an mindestens eine der Elektroden seitlich angrenzenden Absaugkanal bewirkt werden. Ein entsprechendes Absauggebläse kann zentral für mehrere Plasmageneratormodule vorgesehen sein. Aber auch jedes einzelne Modul kann ein solches Absauggebläse aufweisen. Das Absauggebläse kann dabei als auswechselbare Einheit vorgesehen sein, die beispielsweise über eine Steckverbindung an den Luftabsaugkanal angeschlossen ist. Darüber hinaus kann zentral oder an jedem Plasmageneratormodul eine Sensoreinheit zum Erfassen bestimmter Inhaltsstoffe in dem abgesaugten Gas, d. h. der abgesaugten Luft, vorhanden sein. Die Sensoreinheit kann dabei an eine zentrale Auswerteeinrichtung angeschlossen sein, die beispielsweise steuern kann, ob das abgesaugte Gas freigesetzt werden darf oder zunächst noch einer Reinigung bedarf.

[0023] In einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Plasmageneratormoduls ist die Hochspannungsquelle Teil des Plasmageneratormoduls. Entsprechend ist an diese Hochspannungsquelle dann für die Ausbildung der geometrisch unterschiedlichen Entladungsformen zwischen verschiedenen Betriebsmodi umschaltbar, in denen sie verschiedene Wechselhochspannungen an die Elektroden anlegt. Das Anschließen der Hochspannungsquelle des erfindungsgemäßen Plasmageneratormoduls an eine externe Spannungsquelle kann dann, wenn diese externe Spannungsquelle eine Niederspannungsquelle ist, vorteilhafter Weise ausschließlich über Nieder-

spannungsanschlüsse und -leitungen erfolgen. Das heißt, die Teile, an denen Hochspannung anliegt, sind auf Bereiche des Plasmageneratormoduls beschränkt, die relativ leicht abgrenzbar und isolierbar sind, was bei einer externen Hochspannungsversorgung wesentlich komplexer wäre.

[0024] Die Hochspannungsquelle kann insbesondere als auswechselbare Einheit an dem Plasmageneratormodul vorgesehen sein, um sie beispielsweise gegen eine Einheit mit höherer Maximalspannung oder höherer maximaler elektrischer Leistung austauschen zu können.

[0025] Das erfindungsgemäße Plasmageneratormodul kann seitlich längs der und quer zu den Elektroden durch ein Modulgehäuse begrenzt sein. Dieses Modulgehäuse kann zudem an seinen Seitenwänden mit Befestigungseinrichtungen versehen sein. Das Modulgehäuse grenzt das Plasmageneratormodul definiert seitlich ab, und es bietet zugleich die Möglichkeit, mehrere Plasmageneratormodule längs der und/oder quer zu den Elektroden zu einem Modularray zusammenzukoppeln. Hierdurch lässt sich die Größe des Bereichs eines Objekts, der in einem bestimmten Zeitraum mit dem erfindungsgemäßen Plasmamodul einer Plasmabehandlung unterzogen werden kann, leicht vervielfachen. Dabei besteht keine Gefahr, dass die Behandlung in den unterschiedlichen Teilen dieses Bereichs stark unterschiedlich ausfällt, weil jedes Plasmageneratormodul unabhängig von den ihnen benachbarten Plasmageneratormodulen arbeitet und ein Plasma bereitstellt. Die verschiedenen Plasmageneratormodule des Modularrays können daher auch unterschiedliche Plasmas mit unterschiedlichen Entladungsformen erzeugen, selbst wenn alle Plasmageneratormodule grundsätzlich baugleich sind.

[0026] Bei einer erfindungsgemäßen Verwendung eines erfindungsgemäßen Plasmamoduls oder Modularrays werden für die Ausbildung geometrisch unterschiedlicher Entladungsformen nacheinander unterschiedliche Werte des Elektrodenabstand eingestellt. Die unterschiedlichen Entladungsformen umfassen dabei insbesondere eine direkte dielektrisch behinderte Entladung zwischen den beiden Elektroden einerseits und einem ihnen gegenüberliegenden Objekt andererseits, eine dielektrisch behinderte Entladung zwischen den beiden Elektroden, die als Plasmajet auf ein ihnen gegenüberliegendes Objekt ausgeblasen wird, und eine koplanare Gleitentladung zwischen einer der beiden Elektroden und einem den Elektroden gegenüberliegenden Objekt sowie zwischen dem Objekt und der anderen der beiden Elektroden. Die Hochspannungsquelle wird für die unterschiedlichen Entladungsformen in unterschiedlicher Weise betrieben, wobei bei der direkten dielektrisch behinderten Entladung eine gleiche Wechselspannung an den beiden Elektroden gegenüber dem

Objekt oder Erde angelegt wird und wobei bei dem Plasmajet und der koplanaren Gleitladung eine Wechsellspannung zwischen den beiden Elektroden angelegt wird. In diesem Zusammenhang ist der Begriff Wechsellspannung sehr breit zu verstehen. Insbesondere soll er auch zeitliche Verläufe der anliegenden Spannung mit kurzzeitigen Spannungspulsen und nicht symmetrischem Spannungsverlauf umfassen.

[0027] Welcher zeitlicher Verlauf der Wechsellspannung für die verschiedenen Entladungsformen besonders günstig ist und welche genauen Abstände zwischen den Elektroden für die verschiedenen Entladungsformen sinnvollerweise eingestellt werden, ist dem Fachmann grundsätzlich bekannt. Der Fachmann kann diese Werte aber auch durch einfaches Ausprobieren des jeweiligen erfindungsgemäßen Plasmageneratormoduls ermitteln.

[0028] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den Patentansprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Die in der Beschreibung genannten Vorteile von Merkmalen und von Kombinationen mehrerer Merkmale sind lediglich beispielhaft und können alternativ oder kumulativ zur Wirkung kommen, ohne dass die Vorteile zwingend von erfindungsgemäßen Ausführungsformen erzielt werden müssen. Ohne dass hierdurch der Gegenstand der beigefügten Patentansprüche verändert wird, gilt hinsichtlich des Offenbarungsinhalts der ursprünglichen Anmeldungsunterlagen und des Patents Folgendes: weitere Merkmale sind den Zeichnungen - insbesondere den dargestellten Geometrien und den relativen Abmessungen mehrerer Bauteile zueinander sowie deren relativer Anordnung und Wirkverbindung - zu entnehmen. Die Kombination von Merkmalen unterschiedlicher Ausführungsformen der Erfindung oder von Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche ist ebenfalls abweichend von den gewählten Rückbeziehungen der Patentansprüche möglich und wird hiermit angeregt. Dies betrifft auch solche Merkmale, die in separaten Zeichnungen dargestellt sind oder bei deren Beschreibung genannt werden. Diese Merkmale können auch mit Merkmalen unterschiedlicher Patentansprüche kombiniert werden. Ebenso können in den Patentansprüchen aufgeführte Merkmale für weitere Ausführungsformen der Erfindung entfallen.

[0029] Die in den Patentansprüchen und der Beschreibung genannten Merkmale sind bezüglich ihrer Anzahl so zu verstehen, dass genau diese Anzahl oder eine größere Anzahl als die genannte Anzahl vorhanden ist, ohne dass es einer expliziten Verwendung des Adverbs „mindestens“ bedarf. Wenn also beispielsweise von zwei Gasleitelementen die Rede ist, ist dies so zu verstehen, dass genau zwei Gasleitelemente, drei Gasleitelemente oder mehr Gasleitelemente vorhanden sind. Diese Merkmale können

durch andere Merkmale ergänzt werden oder die einzigen Merkmale sein, aus denen das jeweilige Erzeugnis besteht.

[0030] Die in den Patentansprüchen enthaltenen Bezugszeichen stellen keine Beschränkung des Umfangs der durch die Patentansprüche geschützten Gegenstände dar. Sie dienen lediglich dem Zweck, die Patentansprüche leichter verständlich zu machen.

Figurenliste

[0031] Im Folgenden wird die Erfindung anhand in den Figuren dargestellter bevorzugter Ausführungsbeispiele weiter erläutert und beschrieben.

Fig. 1 ist eine perspektivische Darstellung eines erfindungsgemäßen Plasmageneratormoduls.

Fig. 2 ist eine perspektivische Darstellung einer Baugruppe des erfindungsgemäßen Plasmageneratormoduls gemäß **Fig. 1**.

Fig. 3 ist eine Seitenansicht der Baugruppe gemäß **Fig. 2** ergänzt um einen Schieber zur Einstellung eines seitlichen Elektrodenabstands.

Fig. 4 illustriert schematisch drei Entladungsformen bei einer mithilfe des Plasmageneratormoduls gemäß den **Fig. 1** bis **Fig. 3** hervorgerufenen dielektrisch behinderten Entladung.

Fig. 5 ist ein Schnitt durch eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Plasmageneratormoduls.

Fig. 6 illustriert den Aufbau eines Modularrays aus mehreren erfindungsgemäßen Plasmageneratormodulen gemäß **Fig. 1**.

Fig. 7 illustriert den Aufbau eines größeren Modularrays aus mehreren erfindungsgemäßen Plasmageneratormodulen gemäß **Fig. 1**.

Fig. 8 ist eine **Fig. 3** entsprechende Seitenansicht der Baugruppe einer anderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Plasmageneratormoduls gemäß **Fig. 1**.

FIGURENBESCHREIBUNG

[0032] Das in **Fig. 1** in einer perspektivischen Ansicht dargestellte Plasmageneratormodul **1** weist ein Modulgehäuse **2** auf. Seitenwände **3** und **4** des Modulgehäuses **2** sind mit komplementären Befestigungseinrichtungen **5** und **6** versehen, die für ein Koppeln mehrerer gleicher Plasmageneratormodule **1** aneinander ausgebildet sind. An einer Unterseite **7** des Gehäuses **2** sind zwei hier nicht sichtbare Elektroden angeordnet, deren seitlicher Elektrodenabstand mithilfe von zwei Schiebern **8** einstellbar ist, von denen hier nur einer sichtbar ist und die in schlitzförmigen Führungen **9** in dem Gehäuse **2** vertikal ge-

führt sind. An der Oberseite des Gehäuses **2** tritt an zwei Stellen ein Gaszuführkanal **10** in das Modulgehäuse **2** ein, über den Luft aus der Umgebung **11** in das Gehäuse **2** eingesaugt wird. Das Einsaugen erfolgt über einen Absaugkanal **12**, wenn an diesen ein hier nicht dargestelltes Absauggebläse angeschlossen wird.

[0033] Fig. 2 zeigt eine Baugruppe **13** des Plasmageneratormoduls **1** gemäß Fig. 1, die im inneren des Gehäuses **2** gemäß Fig. 1 angeordnet ist. Oben in eine ortsfeste Grundstruktur **15** der Baugruppe **13** tritt der Gaszuführkanal **10** in zwei Bereichen ein, und diese Bereiche münden zwischen zwei Gasleitelemente **14**. Die Gasleitelemente **14** sind mit oberen Enden ortsfest an der Grundstruktur **15** gelagert, und an ihren unteren Enden ist jeweils eine der beiden Elektroden **16** gelagert. Die Elektroden **16** werden dazu an den unteren Enden der Gasleitelemente **14** durch Spannpratzen **22** gehalten. Jede der beiden Elektroden **16** ist mit einer dielektrischen Abschirmung **17** versehen. Gegenüber der Grundstruktur **15** sind die linear langgestreckten und parallel zueinander ausgerichteten Elektroden **16** nicht ortsfest. Vielmehr sind die Gasleitelemente **14** im Sinne von einachsigen Festkörpergelenken verformbar. Dies erlaubt es, einen seitlichen Elektrodenabstand **18** zu variieren, indem die Elektroden **16** um die Festkörpergelenke herum verschwenkt werden. Unabhängig von dem eingestellten Elektrodenabstand **18** führen die Gasleitelemente **14** das über den Gaszuführkanal **10** zwischen die Gasleitelemente **14** eintretende Arbeitsgas den Elektroden **16** zu.

[0034] Zur kontrollierten Variation des seitlichen Elektrodenabstands sind die Schieber **8** vorgesehen, die jeweils mit Betätigungselementen in Führungsbahnen **19** eingreift, die an den Seitenkanten der Gasleitelemente **14** vorgesehen sind. Fig. 3 illustriert, wie ein Herunterschieben der Schieber **8** in Richtung eines Pfeils **20**, die nach unten zunächst V-förmig auseinanderlaufenden Führungsbahnen **19** und damit auch die Elektroden **16** in Richtung von zwei Pfeilen **21** zusammenführt. Dadurch wird der Elektrodenabstand **18** verringert. Die Führungsbahnen **19** können aber auch einen anderen als geradlinigen Verlauf aufweisen, so dass sich der Elektrodenabstand beim Herunterschieben der Schieber **8** nicht monoton ändert. Mit den Schiebern **8** wird zudem eine dielektrische Blende **23** nach unten bis in den seitlichen Elektrodenabstand **18** zwischen den Elektroden **16** bewegt.

[0035] Fig. 4 illustriert verschiedene Entladungsformen, wie sie beim Generieren eines physikalischen Plasmas bei Atmosphärendruck mit dem Plasmageneratormodul gemäß den Fig. 1 bis Fig. 3 hervorgehoben werden können. Gemäß Fig. 4a) wird bei einem beliebigen Elektrodenabstand **18** derselbe Pol einer Wechselhochspannung einer Hochspannungsquelle

24 an beide Elektroden **16** angelegt. Die Wechselhochspannung wird dabei von der Hochspannungsquelle **24** zum Beispiel gegenüber Erde erzeugt und ein zu behandelndes Objekt **25** wird auf eine geerdete Auflage **26** aufgelegt. Unter diesen Voraussetzungen bildet sich eine direkte dielektrisch behinderte Entladung **27** zwischen den Elektroden **16** und dem Objekt **25** aus.

[0036] Gemäß Fig. 4b) wird bei relativ kleinem Elektrodenabstand **18** mit der Hochspannungsquelle **24** eine Wechselhochspannung zwischen den Elektroden **16** angelegt, die zu einer direkten dielektrisch behinderten Entladung **27** zwischen den Elektroden **16** führt. Das durch die direkte dielektrisch behinderte Entladung **27** erzeugte physikalische Plasma wird dabei in Form eines Plasmajets **28** zwischen den Elektroden **16** hindurch auf das zu behandelnde Objekt **25** ausgeblasen.

[0037] Gemäß Fig. 4c) wird bei relativ großem Elektrodenabstand **18** und/oder zwischen den Elektroden **16** angeordneter dielektrischer Blende **23** mit der Hochspannungsquelle **24** eine Wechselhochspannung zwischen den Elektroden **16** angelegt. Der Elektrodenabstand **18** bzw. die dielektrische Blende verhindert dabei eine direkte dielektrisch behinderte Entladung zwischen den Elektroden **16**. Vielmehr kommt es zur Ausbildung einer koplanaren Gleitentladung **29** jeweils zwischen einer der Elektroden **16** und dem zu behandelnden Objekt **25**. Bei dem Plasmageneratormodul **1** gemäß Fig. 1 bis Fig. 3 ist der für die Entladungsformen 4a) bis c) jeweils optimale Elektrodenabstand **18** einstellbar. Darüber hinaus kann auch die Hochspannungsquelle **24** in das Plasmageneratormodul integriert oder an dieses angesetzt sein, um jeweils in den Betriebsmodus geschaltet zu werden, der für die jeweilige Entladungsformen bezüglich der ausgegebenen Wechselhochspannung passend ist. Dabei kann das Schalten der Hochspannungsquelle in den jeweiligen Betriebsmodus durch das Verschieben des Schiebers **8** erfolgen.

[0038] Fig. 5 erläutert anhand eines Schnitts durch eine andere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Plasmageneratormoduls **1** die Führung des Arbeitsgases Luft durch das Modulgehäuse **2** und dabei zwischenzeitlich um die Elektroden **16** an der Unterseite **7** des Gehäuses **2** herum. Das Arbeitsgas Luft tritt aus der Umgebung **11** durch den Gaszuführkanal **10** zwischen die Gasleitelemente **14** ein und gelangt von diesen geführt von oben zwischen die Elektroden **16**. Es tritt durch den Elektrodenabstand **18** hindurch und läuft von dort um die Elektroden **16** herum in schlitzförmige Mündungen **30** des Absaugkanals **12** ein, durch den hindurch es von dem nicht dargestellten Absauggebläse angesaugt wird.

[0039] Fig. 6 skizziert, wie mehrere Plasmageneratormodule **6** mithilfe ihrer Befestigungseinrichtungen

gen **5** und **6** hier in Querrichtung zu ihren an ihren Unterseiten **7** angeordneten Elektroden aneinander gekoppelt werden können, um ein bezüglich der mit ihm durchführbaren Plasmabehandlung eines Objekts größerflächigeres Modularray **31** auszubilden.

[0040] Fig. 7 skizziert, wie mit Hilfe der Befestigungseinrichtungen **5** und **6** mehrere Plasmageneratormodule **6** auch versetzt zueinander zu einem Modularray **31** aneinander gekoppelt werden können. Während Fig. 7 ein flächiges Generatormodul **31** zeigt, bei dem in Querrichtung jeweils drei Generatormodule hintereinander angeordnet sind, die sich beidseitig mit drei benachbarten Generatormodulen teilweise überlappen, kann auch nur eine hin- und her springende oder diagonale Reihe von sich teilweise überlappenden Generatormodulen vorgesehen sein. Die teilweise Überlappung der Generatormodule stellt sicher, dass das physikalische Plasma an der Unterseite des Modularrays lückenlos über die gesamte Breite des Modularrays generiert wird.

[0041] Die in Fig. 8 gezeigte alternative Ausführungsform der Baugruppe **13** weist einen anderen Verlauf der Führungsbahn **19** auf, so dass der minimale Elektrodenabstand **18** dann erreicht wird, wenn sich der Schieber **8** auf Höhe von nach außen gerichteten Knicken **32** der Führungsbahnen **19** befindet. Dadurch vergrößert sich der Elektrodenabstand **18** wieder, wenn mit dem Schieber **8** die dielektrische Blende **23** zwischen die Elektroden **16** verfahren wird, um beste Voraussetzungen für eine koplanare Gleitentladung **29** gemäß Fig. 4c) zu schaffen.

17	dielektrische Abschirmung
18	Elektrodenabstand
19	Führungsbahn
20	Pfeil
21	Pfeil
22	Spannpratze
23	dielektrische Blende
24	Hochspannungsquelle
25	Objekt
26	Auflage
27	dielektrisch behinderte Entladung
28	Plasmajet
29	koplanare Gleitentladung
30	schlitzförmige Mündung
31	Modularray
32	Knick

Bezugszeichenliste

1	Plasmageneratormodul
2	Modulgehäuse
3	Seitenwand
4	Seitenwand
5	Befestigungseinrichtung
6	Befestigungseinrichtung
7	Unterseite
8	Schieber
9	Führung
10	Gaszuführkanal
11	Umgebung
12	Absaugkanal
13	Baugruppe
14	Gasleitelement
15	Grundstruktur
16	Elektrode

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 2014/093513 A1 [0006]
- WO 2011/095245 A1 [0007]
- WO 2015/164760 A1 [0008]
- WO 0154464 A1 [0009]
- WO 2010/083040 A1 [0010]
- CN 204598448 U [0011]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- J. Ehlbeck et al.: Low Temperature Atmospheric Pressure Plasma Sources for Microbial Decontamination, Journal of Physics D: Applied Physics, IOP Publishing, 2011 [0003]

Patentansprüche

1. Plasmageneratormodul (1) zum Generieren eines physikalischen Plasmas durch dielektrisch behinderte Entladung (27) bei Atmosphärendruck mit

- zwei linear langgestreckten Elektroden (16),
- von denen mindestens eine mit einer dielektrischen Abschirmung versehen ist und
- die in einem seitlichen Elektrodenabstand (18) parallel zueinander verlaufen;
- Anschlusseinrichtungen zum Anschließen der Elektroden (16) an eine Hochspannungsquelle (24) und
- zwei flächigen Gasleitelementen zum Leiten von Arbeitsgas zwischen die Elektroden (16), **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine der beiden Elektroden (16) so an einem ersten Ende eines der beiden Gasleitelemente gelagert ist, dass die mindestens eine der beiden Elektroden (16) zusammen mit dem ersten Ende des einen der beiden Gasleitelemente gegenüber der anderen der beiden Elektroden (16) und dem anderen der beiden Gasleitelemente in Richtung des Elektrodenabstands (18) verlagerbar ist, wodurch der Elektrodenabstand (18) für die Ausbildung geometrisch unterschiedlicher Entladungsformen auf unterschiedliche Werte einstellbar ist.

2. Plasmageneratormodul (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das eine der beiden Gasleitelemente mit seinem dem ersten Ende gegenüberliegenden zweiten Ende in einem einachsigen Schwenklager an einer Grundstruktur (15) gelagert ist oder starr an der Grundstruktur (15) gelagert ist und selbst ein einachsiges Festkörpergelenk ausbildet, wobei die eine der beiden Elektroden (16) mit dem ersten Ende des einen der beiden Gasleitelemente um das Schwenklager oder das Festkörpergelenk herum verschwenkbar ist.

3. Plasmageneratormodul (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein gegenüber der Grundstruktur (15) ortsfester Gaszufuhrkanal zwischen die beiden Gasleitelemente einmündet.

4. Plasmageneratormodul (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass beide Elektroden (16) an jeweils einem ersten Ende eines der beiden Gasleitelemente so gelagert sind, dass die beiden Elektroden (16) jeweils zusammen mit dem ersten Ende des jeweiligen Gasleitelements relativ zueinander in Richtung des Elektrodenabstands (18) verlagerbar sind.

5. Plasmageneratormodul (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass an Seitenkanten der Gasleitelemente, an denen jeweils eine verlagerbare Elektrode (16) gelagert ist, zwei Schieber (8) angreifen, die beim Verschieben längs einer quer zu den Elektroden (16) ver-

laufenden Führung (9) den Elektrodenabstand (18) verändern.

6. Plasmageneratormodul (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine dielektrische Blende (23) aus einer inaktiven Position zwischen den Gasleitelementen in eine aktive Position zwischen den Elektroden (16) und zurück überführbar ist.

7. Plasmageneratormodul (1) nach Anspruch 6 soweit rückbezogen auf Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die dielektrischen Blende an die Schieber (8) gekoppelt ist.

8. Plasmageneratormodul (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass an mindestens eine der beiden Elektroden (16), auf ihrer der anderen Elektrode (16) abgekehrten Außenseite eine schlitzförmige Mündung (30) eines Absaugkanal (12) angrenzt, der sich auf dessen Außenseite über das an die Elektrode (16) anschließende Gasleitelement erstreckt.

9. Plasmageneratormodul (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hochspannungsquelle (24) Teil des Plasmageneratormoduls (1) ist, wobei die Hochspannungsquelle (24) für die Ausbildung der geometrisch unterschiedlichen Entladungsformen zwischen verschiedenen Betriebsmodi umschaltbar ist, in denen sie verschiedenen Wechselhochspannungen an die Elektroden anlegt, und wobei die Hochspannungsquelle (24) ausschließlich über Niederspannungsanschlüsse und -leitungen an eine externe Niederspannungsquelle anschließbar ist.

10. Plasmageneratormodul (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass er seitlich längs der und quer zu den Elektroden (16) durch ein Modulgehäuse (2) begrenzt ist, das mit Befestigungseinrichtungen (5, 6) an seinen Seitenwänden versehen ist.

11. Modularray (31) aus mehreren längs der und/oder quer zu den Elektroden (16) nebeneinander angeordneten Plasmageneratormodulen (1) nach Anspruch 10, wobei die Modulgehäuse (2) der mehreren Plasmageneratoren mittels der Befestigungseinrichtungen (5,6) miteinander gekoppelt sind.

12. Verwendung eines Plasmageneratormoduls (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10 oder eines Modularrays (31) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Ausbildung geometrisch unterschiedlicher Entladungsformen nacheinander unterschiedliche Werte des Elektrodenabstands (18) eingestellt werden, wobei die unterschiedlichen Entladungsformen

- eine direkte dielektrisch behinderte Entladung (27) zwischen den beiden Elektroden (16) einerseits und einem ihnen gegenüberliegenden Objekt (25) andererseits,
- eine dielektrisch behinderte Entladung (27) zwischen den beiden Elektroden (16), die als Plasmajet (28) auf ein ihnen gegenüberliegendes Objekt (25) ausgeblasen wird, und
- eine koplanare Gleitentladung (29) zwischen einer der beiden Elektroden (16) und einem den Elektroden (16) gegenüberliegenden Objekt (25) sowie zwischen dem Objekt (25) und der anderen der beiden Elektroden (16) umfassen.

13. Verwendung eines Plasmageneratormoduls (1) nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Hochspannungsquelle (24) für die unterschiedlichen Entladungsformen in unterschiedlichen Betriebsmodi betrieben wird, wobei

- bei der direkten dielektrisch behinderten Entladung (27) eine gleiche Wechselspannung an den beiden Elektroden (16) gegenüber dem Objekt (25) oder Erde angelegt wird, und
- bei dem Plasmajet (28) und der koplanaren Gleitentladung (29) eine Wechselspannung zwischen den beiden Elektroden (16) angelegt wird.

Es folgen 8 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

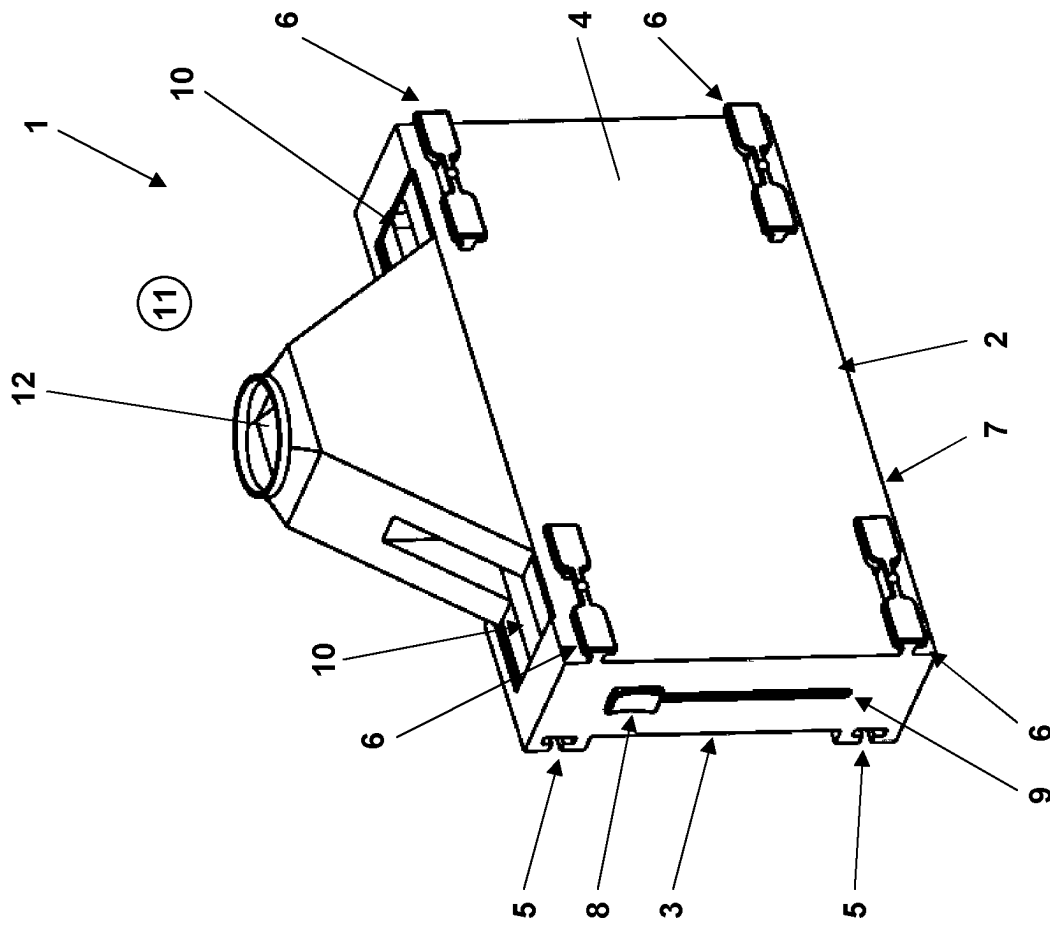


Fig. 1

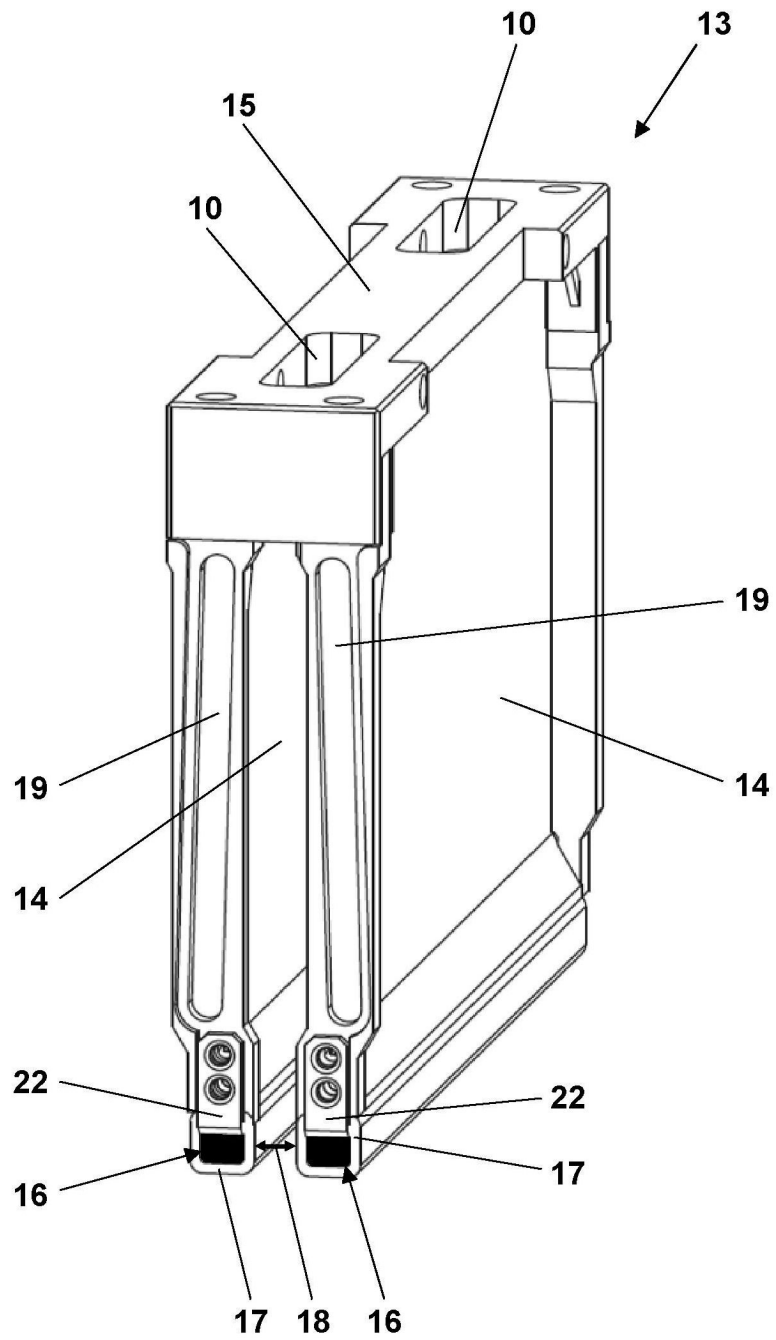


Fig. 2

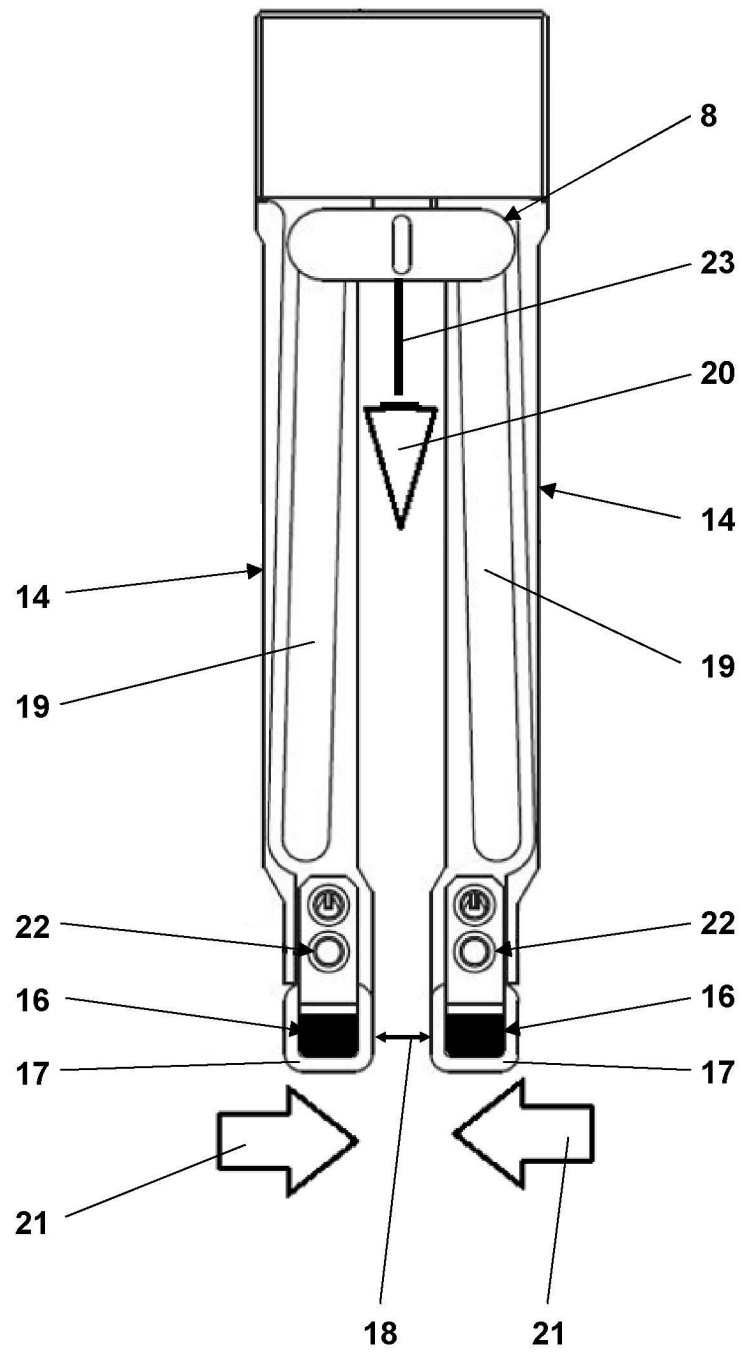


Fig. 3

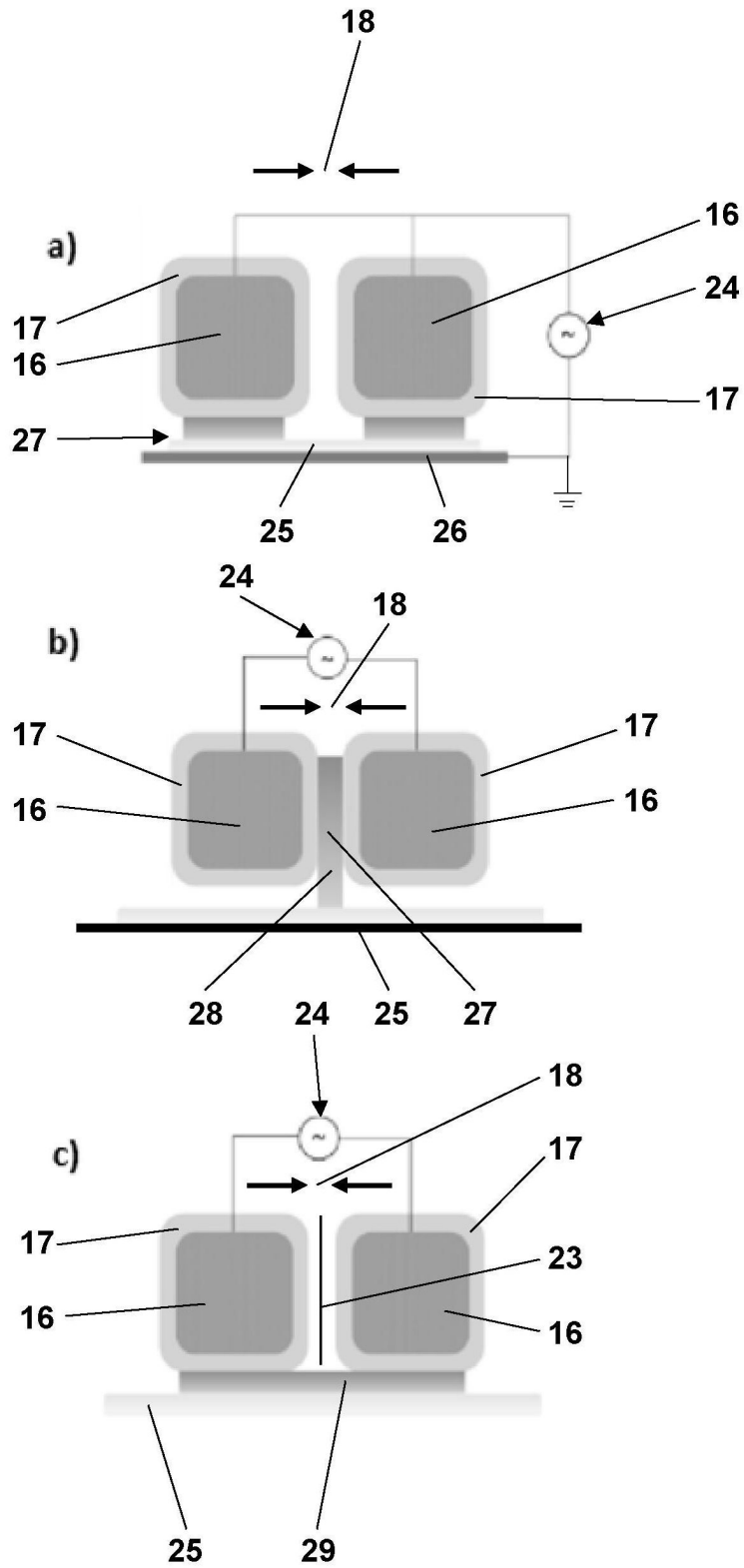


Fig. 4

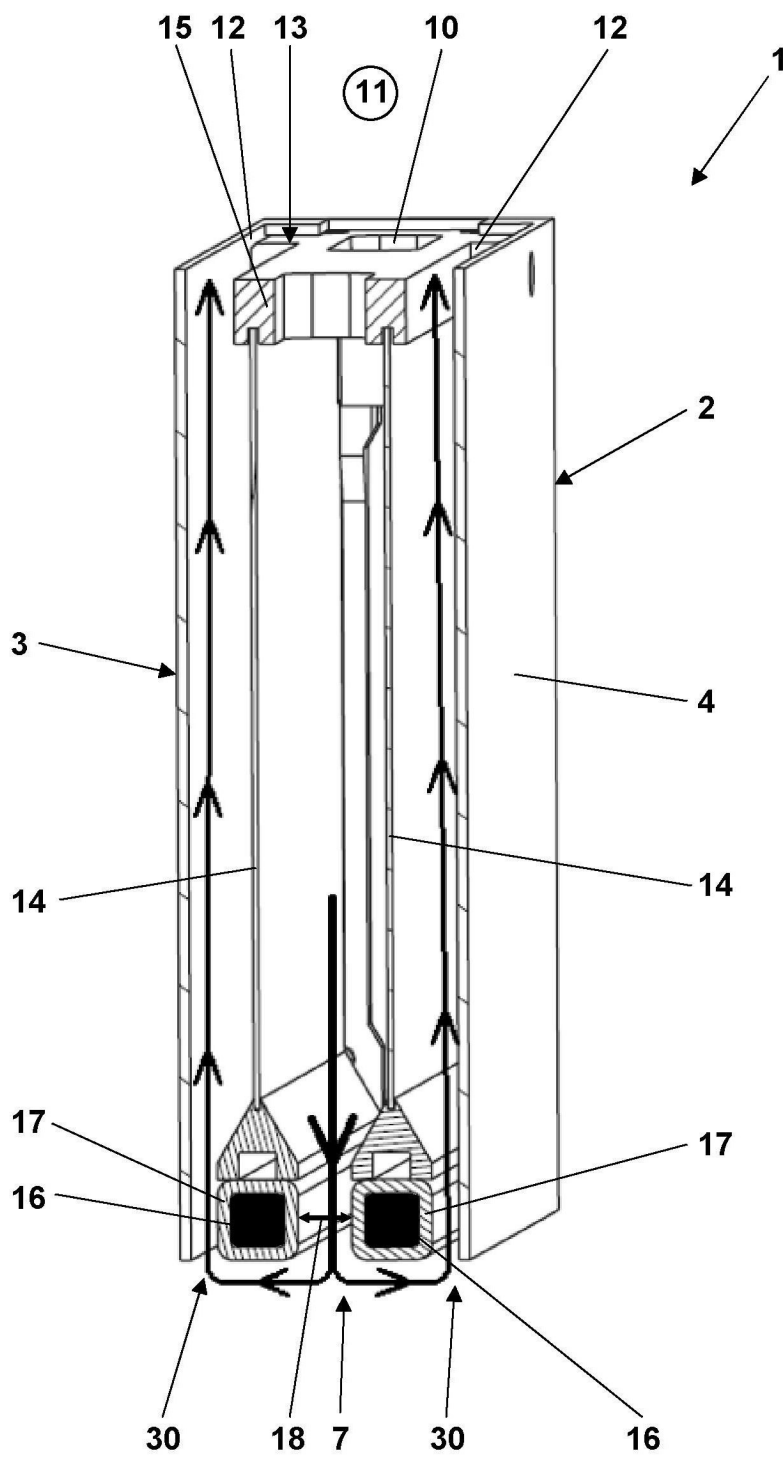


Fig. 5

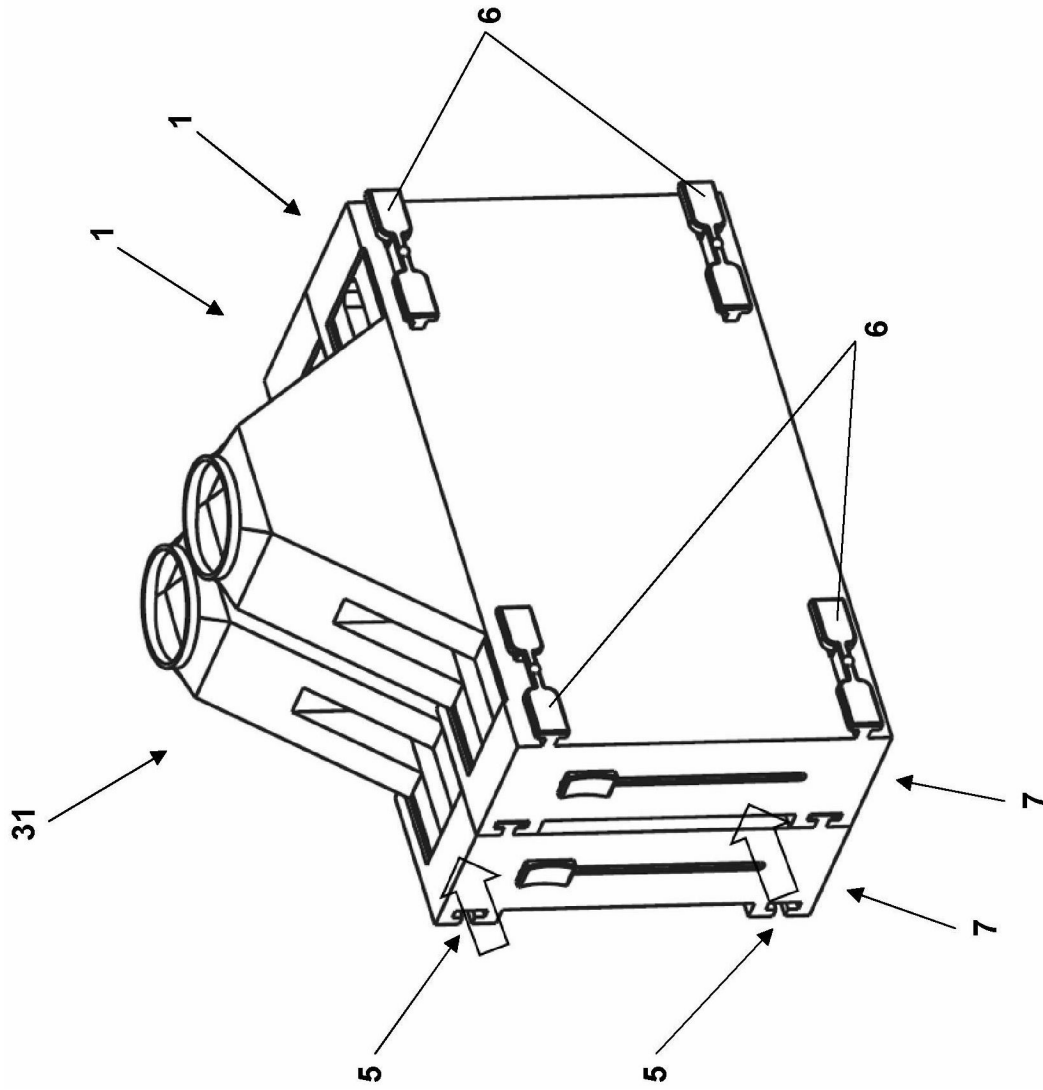


Fig. 6

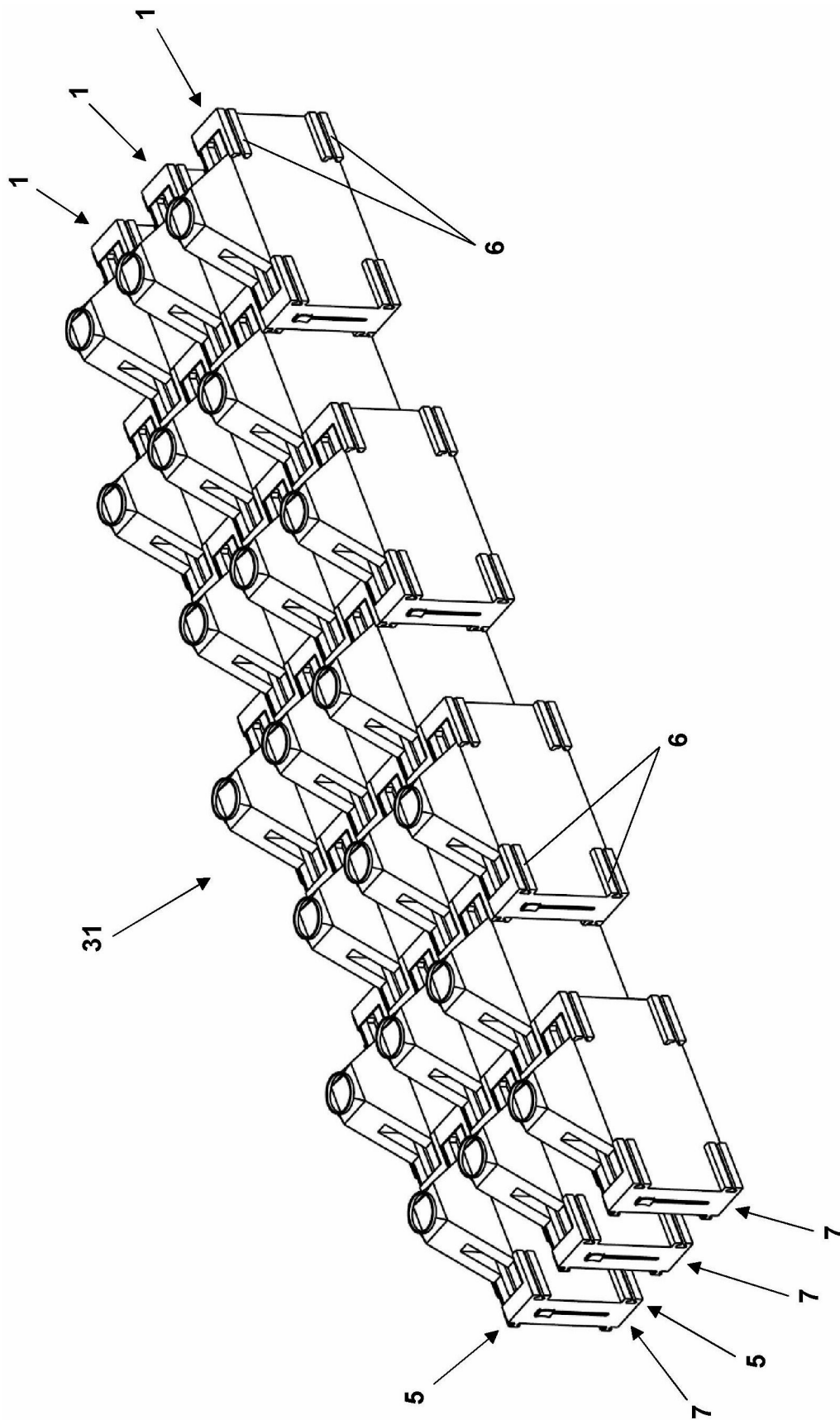


Fig. 7

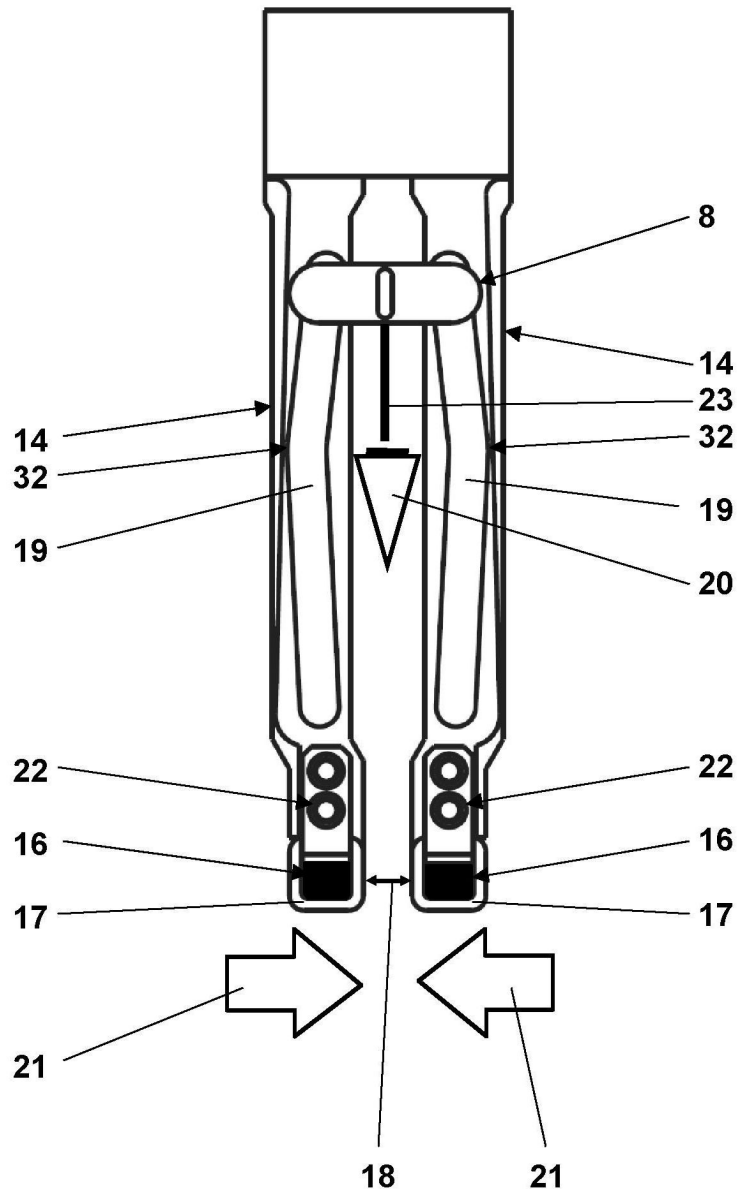


Fig. 8