



(11) **EP 1 837 946 B1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT**

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
11.07.2012 Patentblatt 2012/28

(51) Int Cl.:
H01P 5/18 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **06006202.3**

(22) Anmeldetag: **25.03.2006**

(54) **Richtkoppler**

Directional coupler

Coupleur directionnel

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR
HU IE IS IT LI LT LU LV MC NL PL PT RO SE SI
SK TR**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
26.09.2007 Patentblatt 2007/39

(73) Patentinhaber: **HÜTTINGER Elektronik GmbH +
Co. KG
79111 Freiburg (DE)**

(72) Erfinder:
• **Krausse, Daniel
79106 Freiburg (DE)**
• **Gerhardt, Christoph
79106 Freiburg (DE)**
• **Riessle, Peter
79274 Saint Märgen (DE)**

• **Kirchmeier, Thomas
79331 Teningen (DE)**
• **Pivit, Erich Dr.
71573 Allmersbach im Tal (DE)**

(74) Vertreter: **Kohler Schmid Möbus
Patentanwälte
Ruppmannstraße 27
70565 Stuttgart (DE)**

(56) Entgegenhaltungen:
**EP-A1- 1 014 472 WO-A1-2006/105847
JP-A- 5 014 019 JP-A- 7 153 599
JP-A- 8 203 692 US-A- 3 601 716
US-A- 5 424 694 US-A- 5 625 328
US-A- 5 767 753 US-A1- 2002 050 486
US-A1- 2002 113 667**

EP 1 837 946 B1

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).

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Richtkoppler, insbesondere für eine HF-Plasmaprozessanregungsanordnung gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] HF- Plasmaprozessanregungsanordnungen weisen einen HF-Generator auf, der HF-Leistung an einen Plasmaprozess liefert. Die HF-Leistung wird in der Regel in einem schmalbandigen Frequenzbereich, insbesondere um die Industriefrequenzen 13,56 MHz und 27,12 MHz, an den Plasmaprozess geliefert. Zur Messung der in den Plasmaprozess gelieferten Leistung können Messeinrichtungen vorgesehen sein. Für eine genaue Regelung und/oder Steuerung der Leistung ist es notwendig, die gelieferte Leistung genau zu erfassen.

[0003] Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, die in die Last gelieferte Leistung eines HF-Plasmaprozessanregungssystems zu bestimmen. Eine häufig verwendete ist die Messung mittels eines Richtkopplers. Ein Richtkoppler kann die Vorwärtsleistung P_f und die reflektierte Leistung P_r bestimmen. Richtkoppler koppeln einen Teil der Leistung, die durch eine Durchgangsleitung des Richtkopplers geführt wird, aus.

[0004] Aus der US 5,424,694 ist ein Richtkoppler mit einer Durchgangsleitung und zwei Koppelleitungen bekannt, wobei die beiden Koppelleitungen jeweils mit einem Abschlusswiderstand abgeschlossen sind und der Abschlusswiderstand der Impedanz der Koppelleitungen entspricht.

[0005] Aus der US 5,767,753 ist ein Richtkoppler bekannt, bei dem die Durchgangsleitung und die Koppelleitungen in derselben Ebene angeordnet sind. Zur Beeinflussung des Kopplungsfaktors zwischen den Leitungen sind in einer anderen Ebene Koppellemente vorgesehen.

[0006] Zur Beeinflussung des Kopplungsfaktors zwischen den Leitungen sind in einer anderen Ebene Koppellemente vorgesehen.

[0007] In der JP 08203692 ist ein Richtkoppler in Verbindung mit einer Plasmaanwendung offenbart.

[0008] Die EP 1 014 472 A1 offenbart einen Breitbandrichtkoppler mit mindestens zwei in Kaskade geschalteten Koppelabschnitten unterschiedlicher Koppeldämpfung. Der mittlere Koppelabschnitt weist eine Leitung auf der einen Seite eines Substrats und eine Leitung auf der gegenüberliegenden Seite des Substrats auf. Auf einer Seite des Substrats ist weiterhin eine Metallisierungsfläche vorgesehen.

[0009] Die US 2002/0113667 A1 beschreibt einen Richtkoppler, bei dem eine Koppelleitung und eine Durchgangsleitung in derselben Ebene angeordnet sind. Weiterhin ist in dieser Ebene auch eine Massefläche angeordnet.

[0010] Ein weiterer Richtkoppler wird in JP 5 014 019 A beschrieben.

[0011] Aus der nachveröffentlichten WO 2006/105847 A1 ist ein Koppler bekannt, der vier Anschlussleitungen auf der gleichen Seite eines Substrats aufweist. Zwei

Koppelstrecken sind auf dem Substrat auf zwei gegenüberliegenden Seiten ausgebildet.

[0012] Es existiert eine Vielzahl von Anwendungen von Richtkopplern in Streifenleitungstechnik, die die Länge eines Viertels der zur Frequenz gehörenden Wellenlänge λ besitzen. Solche Längen sind bei einem System, das im Bereich von 10 bis 30 MHz arbeitet, nicht realistisch.

[0013] Die aus dem Stand der Technik, z.B. DE 10 2004 021 535 A1, US 2005/0212617 A1, bekannten Richtkoppler sind für deutlich höhere Frequenzen (1 GHz und höher), wo die Leitungstheorie eine wesentliche Rolle spielt, ausgelegt. Bei den bekannten Richtkopplern verläuft eine Koppelleitung parallel zu der Durchgangsleitung. Ein geringer Teil der Leistung wird von der Durchgangsleitung, in der die Leistung des Generators zur Last fließt, auf die Koppelleitung durch elektrische und magnetische Kopplung ausgekoppelt. An einem Ende der Koppelleitung kann eine der reflektierten Leistung proportionale Leistung abgegriffen werden, am anderen Ende eine der Vorwärtsleistung proportionale Leistung. Es wurde auch schon vorgeschlagen, jeweils eine Koppelleitung für die Vorwärtsleistung und eine Koppelleitung für die reflektierte Leistung zu verwenden.

[0014] Durch eine zusätzliche Beschaltung, die zu meist aus einem Tiefpassfilter, und einer Bürde besteht, kann aus den abgegriffenen Leistungen ein Messsignal generiert werden, das einer Steuerung zugeführt werden kann.

[0015] Bei bekannten Richtkoppleranordnungen ist es nachteilig, dass jede Störung, die von der Beschaltung zurück in die Koppelleitung kommt, sei es durch eine Fehlanpassung der Beschaltung gegenüber dem Richtkoppler oder sei es durch eine Filterung, zu Messwertverfälschungen, sowohl bei der Messung der Vorwärtsleistung als auch der reflektierten Leistung führt.

[0016] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Richtkoppler bereitzustellen, bei dem die elektrische Kopplung zwischen Durchgangsleitung und den Koppelleitungen gering ist und die Vorwärtsleistung und reflektierte Leistung mit unterschiedlichen Koppelfaktoren auskoppelbar ist.

[0017] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch einen Richtkoppler mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Durch die genaue Anpassung der Abschlusswiderstände auf die Wellenwiderstände können Reflexionen aufgrund von Fehlanpassung an dieser Stelle vermieden werden. Dadurch kann eine sehr viel genauere Messung der Leistungen erfolgen. Die Verwendung von zwei Koppelleitungen hat den Vorteil, dass die Vorwärtsleistung und die reflektierte Leistung entkoppelt voneinander gemessen werden können. An den Koppelleitungen kann die Leistung oder eine diese beschreibende Größe abgegriffen werden. Wenn bei der Beschaltung, beispielsweise der Filterung der abgegriffenen Leistung, Reflexionen entstehen, werden diese im Abschlusswiderstand der jeweiligen Koppelleitung absorbiert und tragen nicht zu einem Messfehler auf der anderen Koppel-

leitung bei. Vorzugsweise verlaufen die Koppelleitungen zumindest abschnittsweise parallel zur Durchgangsleitung.

[0018] Bei einer besonders bevorzugten Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass ein erstes Massebezugspotential, insbesondere eine erste Massefläche, vorgesehen ist und die erste und zweite Koppelleitung in einem vorgegebenen Abstand zu dem Massepotential angeordnet sind. Durch die Wahl beziehungsweise Vorgabe der Abstände können die Wellenwiderstände der Koppelleitungen sehr genau eingestellt werden. Durch das feste Bezugspotenzial kann ein fester Wellenwiderstand hoch genau und zuverlässig und mit hoher Wiederholgenauigkeit vorgegeben werden. Vorteilhafterweise wird ein in der Industrie gängiger Wellenwiderstand eingestellt. Sehr gängig ist z.B. ein 50 Ohm oder auch 75 Ohm Wellenwiderstand. Um den Wellenwiderstand zu realisieren, kann zusätzlich die Länge und/oder Breite der Koppelleitungen geeignet vorgegeben werden.

[0019] Bei einer vorteilhaften Ausführungsform können zwei Massebezugspotentiale vorgesehen sein und die Koppelleitungen können zwischen den Massebezugspotentialen angeordnet sein, wobei der Abstand zu zumindest einem, vorzugsweise beiden Massebezugspotentialen vorgegeben oder vorgebar ist. Mit dem einen Massebezugspotential lässt sich der vorgegebene Wellenwiderstand präzise einstellen und mit dem zweiten Massebezugspotential lässt sich die elektrische Kopplung zwischen der Durchgangsleitung und den Koppelleitungen genau einstellen.

[0020] Bei einer bevorzugten Weiterbildung können die Koppelleitungen zwischen zwei Masseflächen angeordnet sein. Die Koppelleitungen können zwischen isolierende Materialien, beispielsweise Leiterplatten eingebettet sein, die die Masseflächen tragen. Dadurch lässt sich der Richtkoppler besonders einfach, kostengünstig und mit einer hohen Präzision herstellen.

[0021] Die Durchgangsleitung ist in derselben Ebene wie eine Massefläche angeordnet, davon jedoch isoliert. Bei relativ kurzen Leitungen, insbesondere kürzer als $\lambda/4$, ist die Kopplung gemäß der Leitungstheorie vernachlässigbar. Es findet vielmehr eine Kopplung durch elektrische und magnetische Felder statt. Die elektrische und die magnetische Kopplung müssen ausgewogen sein. Die magnetische Kopplung ergibt sich durch den magnetischen Feldlinienverlauf im Bereich der Strecke, in der die Koppelleitungen in unmittelbarer Nähe zur Durchführungsleitung geführt sind. Kurze Leitungen bedeuten eine geringe magnetische Kopplung. Für die Ausgewogenheit ist auch eine geringe elektrische Kopplung notwendig. Die elektrische Kopplung ergibt sich durch den elektrischen Feldlinienverlauf zwischen der Durchgangsleitung und der jeweiligen Koppelleitung, sowie aus der Fläche der jeweiligen Koppelleitung. Der Feldlinienverlauf kann durch eine Massefläche auf der gleichen Ebene wie die Durchgangsleitung abgelenkt und somit von den Koppelleitungen weg gelenkt werden. Damit kann die elektrische Kopplung der Durchgangsleitung mit den

Koppelleitungen verringert werden.

[0022] Auch wenn zwischen der Durchgangsleitung und einem Massepotential, insbesondere einer Massefläche, keine Koppelleitung angeordnet ist, können die Feldlinien des elektrischen Feldes umgelenkt werden, um die elektrische Kopplung zwischen Durchgangsleitung und Koppelleitungen zu verringern.

[0023] Wenn die Koppelleitungen an einem Ende ausschließlich einen Abschlusswiderstand aufweisen, der vorzugsweise angepasst ist, kann die Leistung am jeweils anderen Ende ausgekoppelt werden. Mit "angepasster Abschlusswiderstand" ist gemeint, dass der Abschlusswiderstand gleich ist, wie der Wellenwiderstand des Richtkopplers. Reflexionen, die durch die Messung entstehen, landen so im Abschlusswiderstand am anderen Ende der Koppelleitung, führen zu keinen erneuten Reflexionen und tragen nicht zu einem Messfehler auf der jeweils anderen Koppelleitung bei. Der Abschlusswiderstand kann einstellbar ausgeführt sein, dann lassen sich Toleranzen im Richtkoppler ausgleichen.

[0024] Besonders bevorzugt ist es, wenn die parallel verlaufenden Abschnitte der Leitungen eine Länge $<\lambda/4$, insbesondere $\leq \lambda/8$, vorzugsweise $\leq \lambda/10$ aufweisen. Dadurch können die Abmessungen des Richtkopplers klein gehalten werden.

[0025] Bei einer Ausgestaltung der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Vorwärtsleistung und die reflektierte Leistung oder diese beschreibende Größen mit unterschiedlichen Koppelfaktoren auskoppelbar sind. Die reflektierte Leistung ist üblicherweise kleiner als die Vorwärtsleistung. Wenn sie mit einem größeren Koppelfaktor ausgekoppelt werden kann, erhöht sich der Signal-Rauschabstand am Eingang der die Leistung detektierenden Auswerteeinrichtung, weil die Dynamik der die Leistung detektierenden Auswerteeinrichtung vorteilhaft ausgenutzt wird. Die reflektierte Leistung kann dadurch genauer gemessen werden.

[0026] Auf besonders einfache Art und Weise lassen sich unterschiedliche Koppelfaktoren realisieren, wenn die erste und zweite Koppelleitung in unterschiedlichen Abständen zur Durchgangsleitung angeordnet sind.

[0027] Unterschiedlichen Koppelfaktoren können bei einfacher, präziser und kostengünstiger Herstellung des Richtkopplers realisiert werden, wenn die Durchgangsleitung, die erste und die zweite Koppelleitung in unterschiedlichen Ebenen angeordnet sind.

[0028] Vorteilhafterweise sind die Koppelleitungen versetzt zueinander angeordnet. Dadurch kann eine Kopplung zwischen den Koppelleitungen und damit eine Beeinträchtigung der Messergebnisse vermieden werden.

[0029] Der Abstand zwischen den Leitungen lässt sich präzise und reproduzierbar einstellen, wenn die Leitungen durch ein elektrisch isolierendes Material, insbesondere Leiterplattenmaterial, voneinander beabstandet sind.

[0030] Der Richtkoppler ist insbesondere geeignet für den Betrieb in HF-Plasmaprozessanregungsanordnungen.

gen, wenn er für einen Betrieb bei Frequenzen < 200MHz, insbesondere < 40MHz ausgelegt ist.

[0031] In den Rahmen der Erfindung fällt außerdem eine HF-Plasmaprozessanregungsanordnung mit einem Richtkoppler, wie er im Vorhergehenden beschrieben wurde.

[0032] Besonders bevorzugt ist es, wenn ein Großteil des Rückstroms, insbesondere mehr als 90% des Rückstroms, von einer Plasmalast zu einem HF-Generator über eine Massefläche des Richtkopplers fließt. Auf der Massefläche sollte ein Großteil, möglichst der gesamte Rückstrom fließen. Dadurch wird sichergestellt, dass sich das elektrische Feld, das zur elektrischen Kopplung der Durchgangsleitung mit den Koppelleitungen notwendig ist, aufbaut.

[0033] Vorteile ergeben sich, wenn der HF-Widerstand für den Rückstrom zwischen Ausgangsanschluss der HF-Plasmaprozessanregungsanordnung und einem Massepotential des Richtkopplers kleiner ist als der HF-Widerstand eines Gehäuses zwischen Ausgangsanschluss und Massepotential des Gehäuses. Vorzugsweise ist der Ausgang als coaxialer Stecker ausgebildet, auf dessen Außenleiter der Rückstrom fließt. Bei bekannten HF-Plasmaprozessanregungsanordnungen ist der Außenleiter mechanisch und elektrisch in der Regel mit der Masse des Gehäuses verbunden. Auch die Masse des HF-Generators ist in der Regel an mehreren Stellen oder großflächig mit der Masse des Gehäuses verbunden. In der Regel wird also auch dann, wenn ein Massebezugspotential am Richtkoppler vorgesehen ist, hier gar nicht der vollständige Strom fließen, sondern ein Großteil des Stromes wird über das Gehäuse direkt zur Masse des HF-Generators fließen. Der Strom wird sich dazu entsprechend den Widerständen der unterschiedlichen Strompfade zu Masse aufteilen. Erfindungsgemäß wird nun sichergestellt, dass möglichst der ganze Strom über die Massebezugsfläche des Richtkopplers fließt. Ein sehr geringer Widerstand für Gleichstrom, wie es ein herkömmliches Gehäuse auf jeden Fall darstellt, kann beispielsweise erhöht werden, wenn Induktivitäten in den Strompfad eingebracht werden. Alternativ oder zusätzlich kann der Strompfad über das Massebezugspotential des Richtkopplers zur Masse des HF-Generators besonders induktivitätsarm aufgebaut werden. Dazu kann beispielsweise vorgesehen sein, dass die Befestigungsschrauben des Ausgangsanschlusses eine direkte, kurze und großflächige Verbindung zu der Massefläche des Richtkopplers aufweisen. Zusätzlich oder alternativ kann die Verbindung von der Massebezugsfläche des Richtkopplers zur Masse des Generators ebenso kurz, und induktivitätsarm aufgebaut sein.

[0034] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, anhand der Figuren der Zeichnung, die erfindungswesentliche Einzelheiten zeigen, und aus den Ansprüchen. Die einzelnen Merkmale können je einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination bei einer Variante der Erfin-

dung verwirklicht sein.

[0035] Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung schematisch dargestellt und werden nachfolgend mit Bezug zu den Figuren der Zeichnung näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer HF-Plasmaprozessanregungsanordnung;

Fig. 2 eine Schnittdarstellung durch einen erfindungsgemäßen Richtkoppler;

Fig. 3a - 3c eine Draufsicht auf die unterschiedlichen Ebenen des Richtkopplers der Fig. 2; und

Fig. 4 eine schematische Darstellung der Anordnung eines Richtkopplers in einem Gehäuse einer HF-Plasmaprozessanregungsanordnung.

[0036] In der Figur 1 ist eine HF-Plasmaprozessanregungsanordnung 1 schematisch dargestellt. Die HF-Plasmaprozessanregungsanordnung 1 umfasst einen HF-Generator 2, der über einen Richtkoppler 3 mit einer Plasmalast 4 verbunden ist. Der Richtkoppler 3 dient zur Auskopplung von Signalen oder Größen, die mit der von dem HF-Generator 2 abgegebenen Vorwärtsleistung und der von der Plasmalast 4 reflektierten Leistung in Beziehung stehen. Zu diesem Zweck ist eine erste Messeinrichtung 5 (Beschaltung) zur Messung der Vorwärtsleistung und eine zweite Messeinrichtung 6 (Beschaltung) zur Messung der reflektierten Leistung vorgesehen. Die Messeinrichtungen 5, 6 sind wiederum mit einer Auswerteeinrichtung 7 verbunden, die aufgrund der gemessenen Leistungen den HF-Generator 2 und damit die abgegebenen Vorwärtsleistung steuern kann.

[0037] In der Figur 2 ist ein Querschnitt durch den Richtkoppler 3 gezeigt. In derselben Ebene wie eine Massefläche 10 ist eine Durchgangsleitung 11 elektrisch isoliert angeordnet. Über die Durchgangsleitung 11 wird die Vorwärtsleistung von dem HF-Generator zu der Last übertragen. Die Massefläche 10 und die Durchgangsleitung 11 liegen gemäß diesem Ausführungsbeispiel in einer Ebene. Sie sind auf einem als Leiterplatte ausgebildeten elektrischen Isolator 12 angeordnet. In der Ebene darunter ist eine erste Koppelleitung 13 zur Auskopplung der reflektierten Leistung angeordnet. Auch die erste Koppelleitung 13 ist auf einem als Leiterplatte ausgebildeten elektrischen Isolator 14 aufgebracht. Die erste Koppelleitung 13 ist in einem vorgegebenen vertikalen Abstand und leicht versetzt zur Durchgangsleitung 11 angeordnet.

[0038] Die zweite Koppelleitung 15 zur Auskopplung der Vorwärtsleistung ist in einem größeren Abstand zur Durchgangsleitung 11 angeordnet. Auch die zweite Koppelleitung 15 ist auf einem als Leiterplatte ausgebildeten Isolator 16 angeordnet. Aufgrund des größeren Abstands der zweiten Koppelleitung 15 zur Durchgangslei-

tung 11 wird durch die zweite Koppelleitung 15 Leistung mit einem geringeren Koppelfaktor ausgekoppelt. Der Abstand zwischen der zweiten Koppelleitung 15 und der Durchgangsleitung 11 ist ebenfalls vorgegeben. Die Koppelleitung 15 ist versetzt zur Durchgangsleitung 11 angeordnet und überlappt die erste Koppelleitung 13 nicht. Dadurch wird eine Entkoppelung der beiden Koppelleitungen 13, 15 sichergestellt.

[0039] In einer weiteren Ebene ist eine zweite Massefläche 17 vorgesehen. Die Masseflächen 10, 17 können mit mehreren Durchkontaktierungen (nicht gezeigt) verbunden sein, um die Homogenität des Stroms in den Masseflächen 10, 17 sicherzustellen. Die Koppelleitungen 13, 15 haben einen definierten Abstand zur Massefläche 17. Auf diese Weise wird der Wellenwiderstand der Koppelleitungen 13, 15 genau festgelegt. Der Wellenwiderstand wird weiterhin durch die Länge und Breite der Koppelleitungen 13, 15 festgelegt. Die Länge, Breite der Koppelleitungen und der Abstand zu der Massefläche 17 werden somit aufeinander abgestimmt, um einen definierten, vorgegebenen Wellenwiderstand für jede Koppelleitung 13, 15 zu erzielen.

[0040] Die Koppelfaktoren werden ebenfalls durch die Länge und Breite der Koppelleitungen 13, 15 beeinflusst. Einen weiteren Einfluss auf den Koppelfaktor hat die Position der Koppelleitungen 13, 15 in Bezug zur Durchgangsleitung 11 sowie die Breite und Länge der Durchgangsleitung 11.

[0041] Durch die erste Massefläche 10, die in einem anderen, nicht dargestellten Ausführungsbeispiel auch oberhalb der Durchgangsleitung 11 angeordnet sein könnte, wird das elektrische Feld in der Umgebung der Durchgangsleitung 11 beeinflusst. Durch diese Maßnahme kann die elektrische Kopplung zwischen der Durchgangsleitung 11 und den Koppelleitungen 13, 15 beeinflusst und eingestellt werden.

[0042] In der Figur 3a ist eine Draufsicht auf die Massefläche 10 und die Durchgangsleitung 11 gezeigt. Hier wird deutlich, dass die Durchgangsleitung 11 vollständig in die Massefläche 10 eingebettet ist und somit von dieser auch abgeschirmt wird. Gezeigt sind auch ein Eingangsanschluss 21 zur Verbindung mit dem HF-Generator sowie ein Ausgangsanschluss 20 zu Verbindung mit der Plasmalast.

[0043] Die Figur 3b zeigt eine Draufsicht auf den Isolator 14, auf dem die erste Koppelleitung 13 angeordnet ist. Außerhalb des Koppelbereichs 22, in dem die erste Koppelleitung 13 parallel zur Durchgangsleitung 11 verläuft, ist die Koppelleitung 13 abgewinkelt, so dass die Anschlüsse 23, 24 von der Durchgangsleitung 11 entfernt liegen. An dem Anschluss 23 ist ausschließlich ein Widerstand 25 angeschlossen, dessen Widerstandswert dem Wellenwiderstand der ersten Koppelleitung 13 entspricht. Der Anschluss 24 kann an eine Messeinrichtung angeschlossen werden, an die eine die reflektierte Leistung P_r beschreibende Größe ausgegeben wird.

[0044] Die Figur 3c zeigt eine Draufsicht auf den Isolator 16, auf dem die zweite Koppelleitung 15 angeordnet

ist. Außerhalb des Koppelbereichs 22, in dem die zweite Koppelleitung 15 parallel zur Durchgangsleitung 11 verläuft, ist die Koppelleitung 15 abgewinkelt, so dass die Anschlüsse 26, 27 von der Durchgangsleitung 11 und den Anschlüssen 23, 24 der ersten Koppelleitung 13 entfernt liegen. An dem Anschluss 26 ist ausschließlich ein Widerstand 28 angeschlossen, dessen Widerstandswert dem Wellenwiderstand der zweiten Koppelleitung 15 entspricht. Der Anschluss 27 kann an eine Messeinrichtung angeschlossen werden, an die eine die Vorwärtsleistung P_i beschreibende Größe ausgegeben wird.

[0045] In der Figur 4 ist gezeigt, dass der HF-Generator 2 und der Richtkoppler 3 in einem Gehäuse 30 angeordnet sind, wobei das Gehäuse 30 mit einem Massepotential verbunden ist. Ein Ausgangsanschluss 31 des HF-Generators 2 ist über eine Leitung 32 mit der Durchgangsleitung 11 des Richtkopplers 3 verbunden. Die Durchgangsleitung 11 des Richtkopplers 3 ist wiederum mit dem Innenleiter 33 eines als Stecker, insbesondere Koax-Stecker, ausgebildeten Ausgangsanschlusses 34 verbunden. Der Außenleiter 35 des Ausgangsanschlusses 34 ist großflächig über Befestigungsmittel 36 mit dem Gehäuse 30 verbunden. Insbesondere gelangt der auf dem Außenleiter 35 von der Plasmalast zurückgeführte Strom über den Außenleiter 35 an das Gehäuse 30. Um sicherzustellen, dass ein wesentlicher Anteil des Rückstroms über die Massefläche 17 und nicht über das Gehäuse 30 verläuft, ist eine kurze Verbindungsleitung 37 zwischen der Massefläche 17 und dem Ausgangsanschluss 34 vorgesehen. Die Massefläche 17 ist weiterhin über eine kurze Leitung 38 mit dem HF-Generator 2, insbesondere mit dessen Massepotential, verbunden. Die Verbindungsleitungen 37, 38 sind vorzugsweise aus Kupfer oder Silber hergestellt. Diese Metalle weisen eine hohe elektrische Leitfähigkeit auf. Vorzugsweise ist die Länge der Verbindungsleitungen 37, 38 ≤ 10 mm und die Breite ≥ 5 mm insbesondere ≥ 10 mm. Durch die flächige, kurze Ausgestaltung der Verbindungsleitungen 37, 38 wird eine induktionsarme Verbindung zwischen dem Außenleiter 35 und der Masse des HF-Generators 2 über die Massefläche 17 realisiert.

[0046] Weiterhin können Maßnahmen am Gehäuse 30 ergriffen werden, um den Widerstand für den zurückgeführten HF-Strom zu erhöhen und auf diese Weise sicher zu stellen, dass der Rückstrom im Wesentlichen über die Massefläche 17 fließt. Solche Maßnahmen können beispielsweise sein: Verbindungselemente zwischen Gehäuse und Masse des HF-Generators mit Ferritringen versehen, oder Verbindungselemente aus Materialien mit einem hohen μ_r verwenden da ein hohes μ_r den Skin-Effekt erhöht und so zu einer verschlechterten HF-Stromleitung führt. Durch diese Maßnahme können sich die elektrischen und magnetischen Felder ausbilden, die für eine gute Kopplung der Koppelleitungen 13, 15 mit der Durchgangsleitung 11 notwendig sind.

Patentansprüche

1. Richtkoppler (3), insbesondere für eine HF-Plasma-
prozessanregungsanordnung (1), umfassend:
 - a. Eine Durchgangsleitung (11) mit einem Ein-
gangsanschluss (20) und einem Ausgangsans-
chluss (21);
 - b. Eine von der Durchgangsleitung (11) beab-
standete erste Koppelleitung (13) zur Erfassung
von reflektierter Leistung (P_r), die zumindest an
einem Ende mit einem Abschlusswiderstand
(25) abgeschlossen ist;
 - c. Eine von der Durchgangsleitung (11) beab-
standete zweite Koppelleitung (15) zur Erfas-
sung von Vorwärtsleistung (P_f), die zumindest
an einem Ende mit einem Abschlusswiderstand
(28) abgeschlossen ist, wobei
 - d. jede Koppelleitung (13, 15) einen vorgegeben
und eingestellten Wellenwiderstand auf-
weist und die Abschlusswiderstände (25, 28) ei-
nen Widerstandswert aufweisen, der dem Wel-
lenwiderstand der zugeordneten Koppelleitung
(13, 15) mit einer Toleranz $< \pm 10\%$, insbeson-
dere $< \pm 5\%$, vorzugsweise $< \pm 1\%$ entspricht,
dadurch gekennzeichnet, dass
 - e. die Durchgangsleitung (11) in derselben Ebe-
ne wie eine Massefläche (10) angeordnet, da-
von jedoch isoliert ist und
 - f. die Durchgangsleitung (11), die erste und die
zweite Koppelleitung (13, 15) alle in unter-
schiedlichen Ebenen angeordnet sind.
2. Richtkoppler nach Anspruch 1, **dadurch gekenn-
zeichnet, dass** ein erstes Massebezugspotential,
insbesondere eine erste Massefläche (10, 17), vor-
gesehen ist und die erste und zweite Koppelleitung
(13, 15) in einem vorgegebenen Abstand zu dem
Massepotential angeordnet sind.
3. Richtkoppler nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwei
Masseflächen (10, 17) vorgesehen sind und die Kop-
pelleitungen (13, 15) zwischen den Masseflächen
(10, 17) angeordnet sind, wobei der Abstand zu zu-
mindest einem, vorzugsweise beiden Masseflächen
(10, 17) vorgegeben oder vorgebar ist.
4. Richtkoppler nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwis-
chen der Durchgangsleitung (11) und einem
Massepotential, insbesondere einer Massefläche,
keine Koppelleitung (13, 15) angeordnet ist.
5. Richtkoppler nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kop-
pelleitungen (13, 15) an einem Ende ausschließlich
einen Abschlusswiderstand (25, 28) aufweisen.
6. Richtkoppler nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die par-
allel verlaufenden Abschnitte der Leitungen (11, 13,
15) eine Länge $< \lambda/4$, insbesondere $\leq \lambda/8$, vorzugs-
weise $\leq \lambda/10$ aufweisen.
7. Richtkoppler nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Vor-
wärtsleistung (P_f) und die reflektierte Leistung (P_r)
oder diese beschreibende Größen mit unterschied-
lichen Koppelfaktoren auskoppelbar sind, indem die
erste und zweite Koppelleitung (13, 15) in unter-
schiedlichen Abständen zur Durchgangsleitung (11)
angeordnet sind.
8. Richtkoppler nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Kop-
pelleitungen (13, 15) quer zu ihrer Erststreckungs-
richtung versetzt zueinander angeordnet sind.
9. Richtkoppler nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lei-
tungen (11, 13, 15) durch ein elektrisch isolierendes
Material, insbesondere Leiterplattenmaterial, von-
einander beabstandet sind.
10. Richtkoppler nach einem der vorhergehenden An-
sprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** er für ei-
nen Betrieb bei Frequenzen $< 200\text{MHz}$, insbeson-
dere $< 40\text{MHz}$, ausgelegt ist.
11. HF-Plasmaprozessanregungsanordnung (1) mit ei-
nem Richtkoppler (3) nach einem der vorhergehen-
den Ansprüche.
12. HF-Plasmaanregungsanordnung nach Anspruch
11, **dadurch gekennzeichnet, dass** Induktivitäten
im Strompfad zwischen dem Ausgangsanschluss
(34) der Plasmaprozessanregungsanordnung (1)
und dem Massepotential eines Gehäuses (30) an-
geordnet sind.
13. HF-Plasmaanregungsanordnung nach Anspruch 11
oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Aus-
gangsanschluss (34) der Plasmaprozessanre-
gungsanordnung (1) über eine Verbindungsleitung
(37) mit der Massefläche (10, 17) des Richtkopplers
(3) verbunden ist und/oder die Massefläche (17) des
Richtkopplers (3) über eine Leitung (30) mit dem
Massepotential des HF-Generators (2) verbunden
ist.

Claims

1. Directional coupler (3), in particular, for an HF plas-
ma process excitation configuration (1), comprising:

- a. a transmission line (11) with an input terminal (20) and an output terminal (21);
 b. a first coupling line (13) for detecting reflected power (P_r), which is spaced apart from the transmission line (11) and is terminated at least at one end with a termination resistance (25);
 c. a second coupling line (15) for detecting forward power (P_f), which is spaced apart from the transmission line (11) and is terminated at least at one end with a termination resistance (28), wherein
 d. each coupling line (13, 15) has a predetermined and adjusted characteristic impedance, and the termination resistances (25, 28) have a resistance value which corresponds to the characteristic impedance of the associated coupling line (13, 15) with a tolerance of $<\pm 10\%$, in particular $<\pm 5\%$, preferentially $<\pm 1\%$, **characterized in that**
 e. the transmission line (11) is disposed in the same plane as a ground surface (10), but insulated therefrom and
 f. the transmission line (11), the first and the second coupling lines (13, 15) are disposed in different planes.
2. Directional coupler according to claim 1, **characterized in that** a first ground reference potential, in particular, a first ground surface (10, 17) is provided, and the first and second coupling lines (13, 15) are disposed at a predetermined distance from the ground potential.
3. Directional coupler according to any one of the preceding claims, **characterized in that** two ground surfaces (10, 17) are provided and the coupling lines (13, 15) are disposed between the ground surfaces (10, 17), wherein the distance from at least one, preferably both ground surfaces (10, 17) is or can be predetermined.
4. Directional coupler according to any one of the preceding claims, **characterized in that** there is no coupling line (13, 15) between the transmission line (11) and a ground potential, in particular a ground surface.
5. Directional coupler according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the coupling lines (13, 15) have exclusively a termination resistance (25, 28) at one end.
6. Directional coupler according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the parallel sections of the lines (11, 13, 15) have a length of $<\lambda/4$, in particular $\leq \lambda/8$, preferentially $\leq \lambda/10$.
7. Directional coupler according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the forward power (P_f) and the reflected power (P_r) or quantities describing them, can be decoupled with different coupling factors **in that** the first and the second coupling lines (13, 15) are disposed at different distances from the transmission line (11).
8. Directional coupler according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the coupling lines (13, 15) are offset from each other transversely to their direction of extension.
9. Directional coupler according to any one of the preceding claims, **characterized in that** the lines (11, 13, 15) are separated from each other by an electrically insulating material, in particular, a printed circuit board material.
10. Directional coupler according to any one of the preceding claims, **characterized in that** it is designed for operation at frequencies of < 200 MHz, in particular < 40 MHz.
11. HF plasma process excitation configuration (1) comprising a directional coupler (3) in accordance with any one of the preceding claims.
12. HF plasma excitation configuration according to claim 11, **characterized in that** inductances are arranged in the current path between the output terminal (34) of the plasma process excitation configuration (1) and the ground potential of a housing (30).
13. HF plasma excitation configuration according to claim 11 or 12, **characterized in that** the output terminal (34) of the plasma process excitation configuration (1) is connected to the ground surface (10, 17) of the directional coupler (3) via a connecting line (37), and/or the ground surface (17) of the directional coupler (3) is connected to the ground potential of the HF generator (2) via a line (30).

Revendications

1. Coupleur directionnel (3), en particulier pour un dispositif (1) d'excitation de processus au plasma HF (haute fréquence), comprenant :
- a. une ligne de transmission (11), avec une borne d'entrée (20) et une borne de sortie (21),
 b. une première ligne de couplage (13), qui est distante de la ligne de transmission (11), est destinée à détecter la puissance réfléchie (P_r) et est terminée au moins à une extrémité par une résistance de terminaison (25),
 c. une deuxième ligne de couplage (15), qui est distante de la ligne de transmission (11), est

- destinée à détecter la puissance directe (P_i) et est terminée au moins à une extrémité par une résistance de terminaison (28),
- d. sachant que chaque ligne de couplage (13, 15) présente une impédance caractéristique prédéterminée et réglée et que les résistances de terminaison (25, 28) présentent une valeur de résistance qui correspond à l'impédance caractéristique de la ligne de couplage associée (13, 15) avec une tolérance $< \pm 10\%$, en particulier $< \pm 5\%$, de préférence $< \pm 1\%$, **caractérisé en ce que**
- e. la ligne de transmission (11) est disposée dans le même plan qu'une surface de masse (10), mais est isolée par rapport à celle-ci, et
- f. la ligne de transmission (11), la première ligne de couplage (13) et la deuxième ligne de couplage (15) sont toutes disposées dans des plans différents.
2. Coupleur directionnel selon la revendication 1, **caractérisé en ce qu'il** est prévu un premier potentiel de référence à la masse, en particulier une première surface de masse (10, 17), et la première et la deuxième lignes de couplage (13, 15) sont disposées à une distance prédéterminée du potentiel de masse.
 3. Coupleur directionnel selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** est prévu deux surfaces de masse (10, 17) et les lignes de couplage (13, 15) sont disposées entre les surfaces de masse (10, 17), sachant que la distance par rapport à au moins une, de préférence aux deux surfaces de masse (10, 17) est prédéterminée ou prédéterminable.
 4. Coupleur directionnel selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'aucune** ligne de couplage (13, 15) n'est disposée entre la ligne de transmission (11) et un potentiel de masse, en particulier une surface de masse.
 5. Coupleur directionnel selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les lignes de couplage (13, 15) présentent à une extrémité exclusivement une résistance de terminaison (25, 28).
 6. Coupleur directionnel selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les parties des lignes (11, 13, 15) qui s'étendent en parallèle présente une longueur $< \lambda/4$, en particulier $\leq \lambda/8$, de préférence $\leq \lambda/10$.
 7. Coupleur directionnel selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** la puissance directe (P_i) et la puissance réfléchie (P_r), ou des grandeurs qui les décrivent, peuvent être découplées avec des facteurs de couplage différents, par le fait que la première et la deuxième lignes de couplage (13, 15) sont disposées à des distances différentes de la ligne de transmission (11).
 8. Coupleur directionnel selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les lignes de couplage (13, 15) sont disposées en étant décalées l'une par rapport à l'autre transversalement à leur direction de développement.
 9. Coupleur directionnel selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** les lignes (11, 13, 15) sont espacées les unes des autres par un matériau électriquement isolant, en particulier un matériau de carte à circuit imprimé.
 10. Coupleur directionnel selon l'une des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'il** est conçu pour une exploitation à des fréquences < 200 MHz, en particulier < 40 MHz.
 11. Dispositif (1) d'excitation de processus au plasma HF avec un coupleur directionnel (3) selon l'une des revendications précédentes.
 12. Dispositif d'excitation de processus au plasma HF selon la revendication 11, **caractérisé en ce que** des résistances inductives sont disposées dans le trajet de courant entre la borne de sortie (34) du dispositif (1) d'excitation de processus au plasma et le potentiel de masse d'un boîtier (30).
 13. Dispositif d'excitation de processus au plasma HF selon la revendication 11 ou 12, **caractérisé en ce que** la borne de sortie (34) du dispositif (1) d'excitation de processus au plasma est reliée par l'intermédiaire d'une ligne de jonction (37) à la surface de masse (10, 17) du coupleur directionnel (3), et/ou la surface de masse (17) du coupleur directionnel (3) est reliée par l'intermédiaire d'une ligne (30) au potentiel de masse du générateur HF (2).

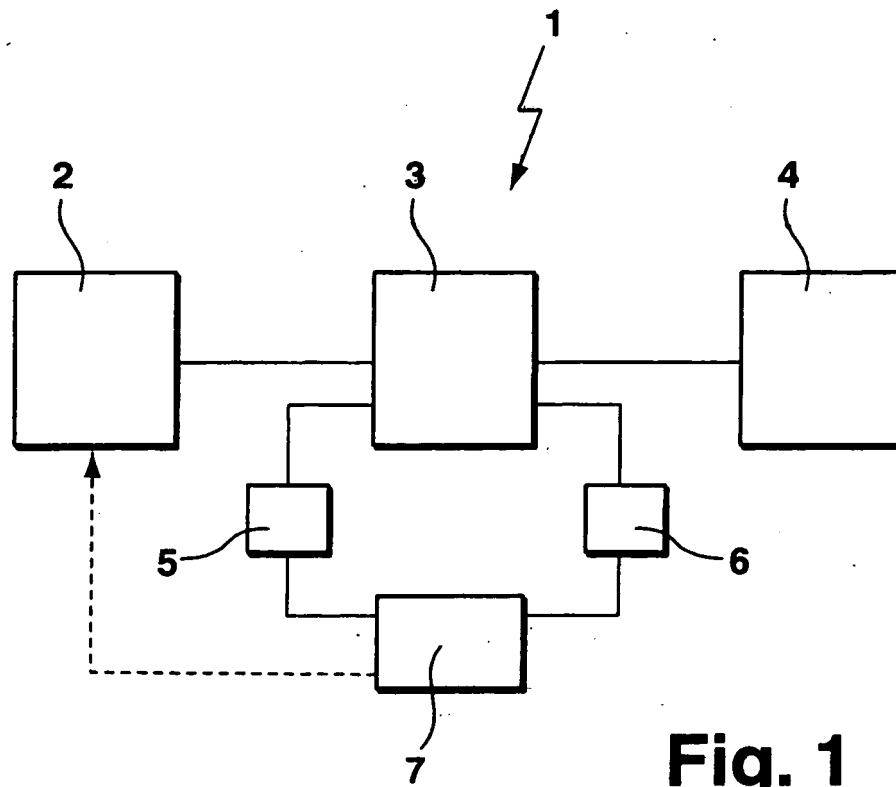


Fig. 1

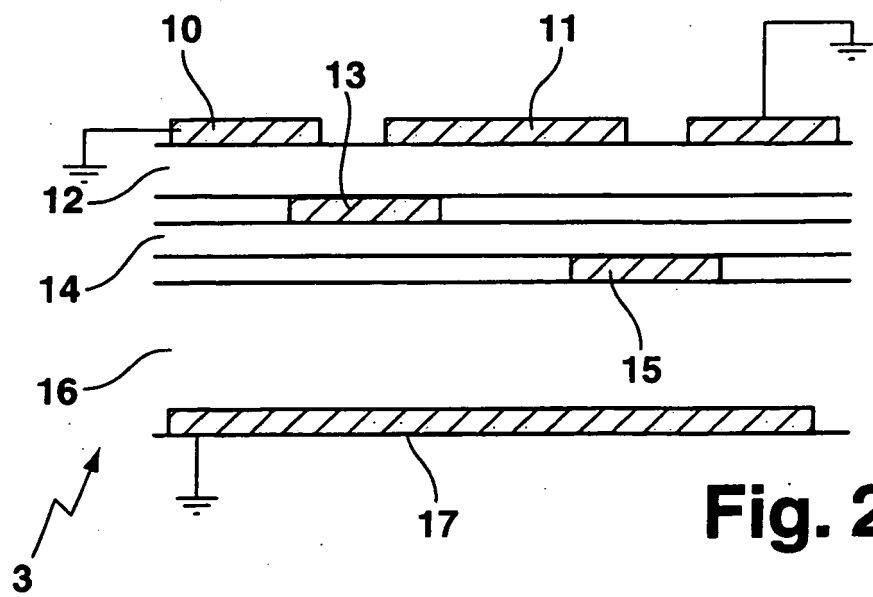


Fig. 2

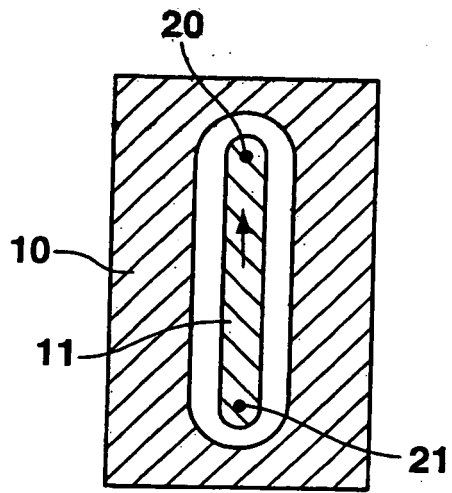


Fig. 3a

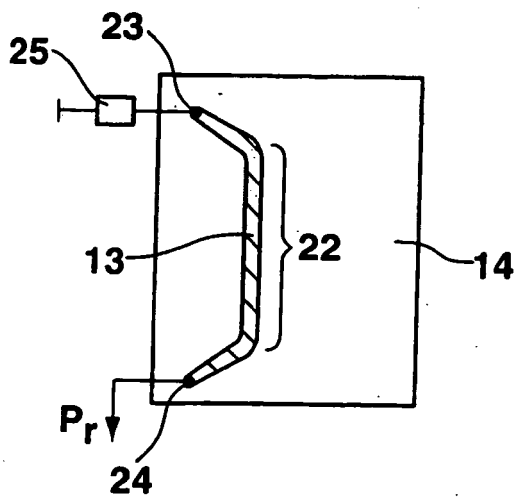


Fig. 3b

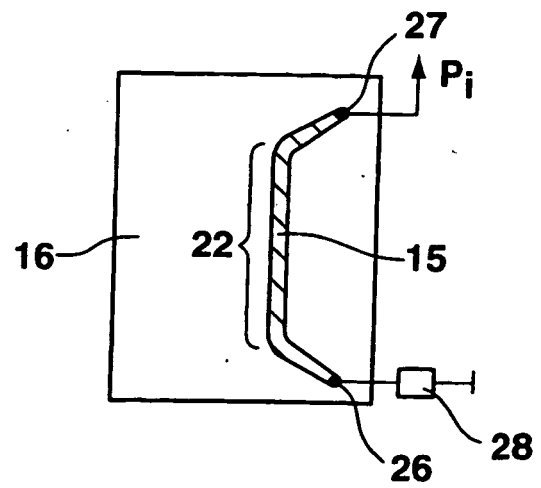


Fig. 3c

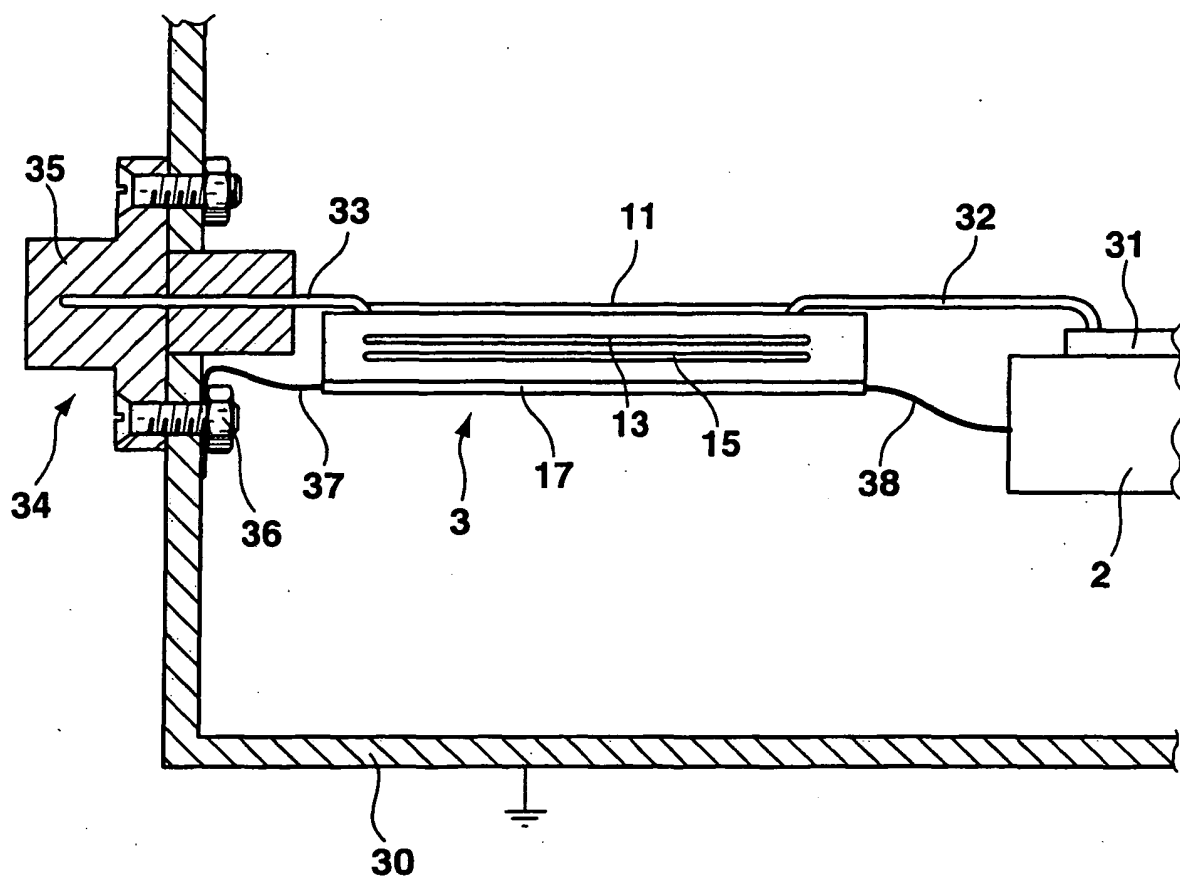


Fig. 4

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 5424694 A [0004]
- US 5767753 A [0005]
- JP 08203692 B [0007]
- EP 1014472 A1 [0008]
- US 20020113667 A1 [0009]
- JP 5014019 A [0010]
- WO 2006105847 A1 [0011]
- DE 102004021535 A1 [0013]
- US 20050212617 A1 [0013]