



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 04 073 T2 2004.04.15**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 1 216 493 B1**

(51) Int Cl.⁷: **H01P 5/16**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 04 073.9**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/FR00/02507**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 962 606.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/020710**

(86) PCT-Anmeldetag: **12.09.2000**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **22.03.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **26.06.2002**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **23.07.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **15.04.2004**

(30) Unionspriorität:

9911422 13.09.1999 FR

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:

Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Paris, FR; Université de Montreal, Montreal, Quebec, CA; Métal Process, Montevrain, FR

(72) Erfinder:

PELLETIER, Jacques, 38400 St Martin d'Heres, FR; LACOSTE, Ana, F-38950 St Martin le Vinoux, FR; LAGARDE, Leon, Thierry, F-38100 Grenoble, FR; MOISAN, Michel, Montreal, CA; ARNAL, Alban-Marie, Yves, F-38320 Poisat, FR; ZAKRZEWSKI, Zenon, PL-80-461 Gdansk, PL

(74) Vertreter:

Samson & Partner, Patentanwälte, 80538 München

(54) Bezeichnung: **LEISTUNGSVERTEILER IN EINER PLASMAVORRICHTUNG**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft den Bereich der Mikrowellenvorrichtungen.

[0002] Genauer betrifft die vorliegende Erfindung den Bereich der Vorrichtungen, die mehrere elementare Mikrowellenquellen umfassen, die durch einen gemeinsamen Generator gespeist werden.

[0003] Die vorliegende Erfindung kann insbesondere in der Plasmaproduktion auf Basis einer gegebenen Anzahl von Plasma-Elementarquellen, die durch einen einzigen Leistungsgenerator versorgt werden, Anwendung finden.

[0004] Diese Elementarquellen können unabhängig in einer Zelle (beispielsweise mit der Zielsetzung die physikalischen oder technologischen Grenzen der maximalen Mikrowellenleistung zu umgehen, die auf eine einzelne Plasmaquelle angewendet werden können) oder verteilt in einer Zelle sein, um die notwendige Ausweitung des Maßstabs für eine beabsichtigte Anwendung zu gestatten. Allgemeiner können die Anwendungsbereiche mehrfacher Plasmaquellen nicht nur die Gesamtheit der bereits durch den Einsatz einzelner Plasmaquellen abgedeckten Bereiche abdecken, sondern auch neue Bereiche, die mit Einzelquellen nicht bearbeitet werden können (beispielsweise aus Gründen der Gleichförmigkeit, Geschwindigkeit etc.).

[0005] Die Erfindung betrifft die Gesamtheit der Mikrowellenplasmen und Entladungen, unabhängig vom Druckbereich, der Mikrowellenfrequenz, der Beschaffenheit und Konfiguration der Mikrowellen-Übertragungsvorrichtung oder der Anwesenheit oder Abwesenheit eines magnetischen Felds.

[0006] Die Erfindung ist jedoch nicht auf den Plasmabereich beschränkt. Sie kann beispielsweise gleichermaßen auf Klebe-, Trocknungs-, oder Vulkanisierungsvorgänge auf der Basis mehrerer Stationen angewendet werden und allgemeiner auf jeden Vorgang, bei dem die Impedanz des Systems in Abhängigkeit von der Zeit von einer Station zur anderen variieren kann.

[0007] Das Gebiet der Mikrowellen war bereits Gegenstand zahlreicher Untersuchungen.

[0008] Insbesondere war die Versorgung mehrerer Elementarquellen durch einen gemeinsamen Generator bereits Gegenstand mehrerer Vorschläge.

[0009] Zur Aufteilung der von einem einzelnen Generator bereitgestellten Mikrowellenleistung können Kaskaden von 3 dB-Kopplern (Division durch 2) verwendet werden, die beispielsweise durch Rechteckwellenleiter realisiert werden. Diese Lösung hat oftmals einen hohen Platzbedarf, gestattet jedoch die Realisierung von Divisionen der Leistung durch $N = 2^k$, wobei k die Anzahl der aufeinanderfolgenden Kaskadenstufen darstellt. Die Mikrowellenleistung kann so durch 2, 4, 8, 16, 32 etc. geteilt werden. Ein geeigneter Leiter-Koaxial-Übergang am Ende jedes Leiters gestattet es außerdem, die Mikrowellenleistung mit Hilfe eines mit Standardanschlüssen ausge-

statteten Koaxialkabels zu transportieren.

[0010] Eine weitere häufig verwendete Lösung ist es, die Mikrowellenleistung in einem Hohlraum, einem Leiter oder einem Ringresonator, in denen stationäre Wellen erzeugt werden, durch Antennen zu entnehmen, die in den Bäuchen des elektrischen Felds (Zonen maximalen elektrischen Felds) angeordnet sind. Diese Lösung geht im allgemeinen davon aus, daß sich jede Plasmaelementarquelle wie eine angepaßte Impedanz verhält oder anders ausgedrückt, daß sie die gesamte entnommene Mikrowellenleistung aufnimmt. Mit einer solchen Vorrichtung ist es somit möglich, jeder Elementarquelle eine bestimmte Mikrowellenleistung zuzuführen.

[0011] Das Schriftstück D1 US-A-5 517 085 offenbart eine Vorrichtung, die einen Ringresonator mit einem Rechteckleiter umfaßt, der in der TE_{10} -Mode arbeitet, in der die stationären Wellen erzeugt werden, und die Mikrowellenleistung wird durch Anschlüsse entnommen, die im Leiter angeordnet sind und aus Schlitzantennen bestehen.

[0012] Die bis jetzt vorgeschlagenen Vorrichtungen sind jedoch nicht vollständig zufriedenstellend.

[0013] Eine der Schwierigkeiten der Aufteilung der Mikrowellenleistung zur Versorgung der Plasmaquellen ist es, daß eine Plasmaquelle sich im allgemeinen nicht wie eine angepaßte Last verhält. Tatsächlich entspricht die am Eingang einer Plasmaquelle wirkende Impedanz, die aus der Kombination der Eingangsimpedanz der Übertragungsvorrichtung und der auf diesen Eingang zurückwirkenden Impedanz des Plasma resultiert, im allgemeinen nicht einer angepaßten Last, das heißt, einer reinen Widerstandslast mit einer Impedanz gleich der charakteristischen Impedanz der Mikrowellenversorgungsleitung. Im Gegenteil können in Abhängigkeit vom Entladungstyp, den Entladungsbedingungen und der aufgenommenen Leistung komplexe Impedanzwerte am Eingang der Plasmaquelle auftreten, die von Null bis Unendlich variieren.

[0014] Im Fall mehrerer, durch einen einzigen Mikrowellengenerator gespeisten Plasmaquellen kommt ohne eine ausreichende Entkopplung (typischerweise > 20 dB) zwischen den Mikrowellenversorgungsleitungen der verschiedenen Quellen das Problem des Einflusses der Impedanz einer Quelle auf die Gesamtheit der anderen Quellen hinzu.

[0015] So ist die Impedanz am Eingang der Quelle unmittelbar vor dem Einschalten im allgemeinen wesentlich größer als diejenige für den durchgehenden Betrieb der Entladung. Außer durch diese Impedanzschwankung einer gegebenen Quelle im Moment des Einschaltens wird die Aufteilung der Leistung auch durch das nicht gleichzeitige Einschalten der verschiedenen Plasmaquellen beeinflusst. Dadurch muß beim Anfahren einer Gruppe von Plasmaquellen mit einem bedeutenden Ungleichgewicht der auf die einzelnen Plasmaquellen übertragenen Leistung und mit dem Auftreten von bedeutenden reflektierten Leistungen im Kreislauf gerechnet werden.

[0016] Diese Ungleichgewichte, die ein stark erhöhtes Niveau an reflektierter Leistung bewirken, können das Anfahren des Plasma in den Quellen verhindern, die eine minimale Plasmadichte benötigen, also eine minimale übertragene Leistung wie beispielsweise bei den Plasmen der Oberflächenwellen.

[0017] Eine andere Schwierigkeit, die zu einem Impedanzungleichgewicht führt, hängt mit Plasmen zusammen, deren Plasmadichte im Gegensatz dazu durch einen oberen Wert begrenzt ist, beispielsweise die kritische Dichte, wie etwa bei Plasmen, die die verteilte elektronische Zyklotronresonanz verwenden. In diesem Fall wird jede einfallende Leistung, die oberhalb des die kritische Dichte sicherstellenden Werts liegt, am Eingang der Quelle reflektiert und wieder in den Verteilungskreislauf der Mikrowellen gegeben.

[0018] Außerdem können auch im laufenden Betrieb Impedanzungleichgewichte auftreten, beispielsweise im Fall der Schwäche einer der Quellen oder infolge einer beabsichtigten oder unbeabsichtigten Schwankung der Betriebsbedingungen (Gaszusammensetzung, Durchfluß, Druck, Plasmadichte, Radiofrequenzpolarisierung etc.) bei Verfahren mit mehreren Sequenzen.

[0019] Schließlich führen auch die Interferenzen zwischen den Übertragungsvorrichtungen im Fall mehrerer in einer Zelle arbeitenden Plasmaquellen zu einem Niveau der reflektierten Leistung, das die gewünschte Verteilung der Leistung stören kann.

[0020] Somit haben die klassischen Lösungen zur Aufteilung der Mikrowellenleistung einen zu hohen Platzbedarf (3 dB-Koppler-Kaskaden) oder sie gestatten nur eine Aufteilung entsprechend der festgelegten Zahlen $n = 2^k$ oder sie benötigen eine angepaßte Impedanz, was bei einer Plasmaquelle nicht der Fall ist.

[0021] Die vorliegende Erfindung hat zum Ziel, die Mikrowellensysteme mit mehreren durch einen gemeinsamen Generator versorgten elementaren Quellen zu verbessern, um die Nachteile des bisherigen Stands der Technik zu beseitigen.

[0022] Dieses Ziel wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung durch ein System erreicht, das folgendes umfaßt:

- einen Mikrowellengenerator,
- einen mit dem Generator gekoppelten Rechteckleiter, der zum Arbeiten in einer Grundmode (H_{10}) oder transversalen elektrischen Mode (TE_{10}) ausgestaltet ist, und Mitteln zugehört, die ein Verhalten stehender Wellen sicherstellen,
- mehrere Leistungsaufnehmer, die im Leiter in Höhe von Zonen maximaler Amplitude einer der Komponenten des elektromagnetischen Feldes angeordnet sind, um eine Aufteilung der Leistung des Generators sicherzustellen, wobei die Leistungsaufnehmer derart abgeglichen sind, daß die Summe ihrer reduzierten Leitwerte, die auf den Eingang des durch den Rechteckleiter gebildeten Teilers zurückgeführt sind, unitär ist, und

- mehrere Quellen, die jeweils mit einem Aufnehmer des Leiters gekoppelt sind, mittels
- eines Isolatormittels, das eine Leistungsübertragung vom Aufnehmer in Richtung der Quelle sicherstellt, ohne Reflexion in Richtung des Aufnehmers, und
- einer Vorrichtung zum Anpassen der Impedanz jeder Quelle, die stromab des Isolatormittels zwischen dem letzteren und der zugehörigen Quelle gelegen ist.

[0023] Weitere Merkmale, Ziele und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden beim Lesen der nachfolgenden detaillierten Beschreibung mit Bezug auf die beigefügten Figuren deutlich werden, die nur beispielhaft und nicht einschränkend zu verstehen sind, und in denen:

[0024] **Fig. 1** den Verlauf der auf den Eingang des Leiters zurückgeführten reduzierten Leitfähigkeit einer Antenne in Abhängigkeit von der Länge dieser Antenne im Leiter darstellt,

[0025] die **Fig. 2** und **3** Querschnittansichten eines Leiters darstellen und zwei Varianten der Anbringung von Aufnehmern oder Antennen auf diesem veranschaulichen,

[0026] **Fig. 4** eine schematische Gesamtansicht einer Vorrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung darstellt, und

[0027] **Fig. 5** eine perspektivische Ansicht eines Leiters gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung darstellt.

[0028] Wie zuvor dargelegt wurde, verwendet die Erfindung die Kombination dreier Elemente, von denen das erste **100** die erforderliche Aufteilung der Leistung bereitstellt (vorzugsweise aber nicht notwendigerweise die Gleichverteilung entsprechend dem Bedarf), das zweite **200** eine unabhängige und reflexionsfreie Leistungsübertragung zu jeder Quelle **400** unabhängig von der Eingangsimpedanz jeder der Quellen **400** bereitstellt und das dritte **300** eine Vorrichtung zur Impedanzanpassung für jede Quelle **400**, für die so verfügbare Leistung in Abhängigkeit vom Bedarf eine mehr oder weniger vollständige Aufnahme (beispielsweise im Plasma) sicherstellt.

[0029] Genauer wird im Rahmen der Erfindung der Leistungsaufteiler **100** auf Basis eines Rechteckwellenleiters **110** realisiert, auf Basis dessen eine Leistungsentnahme ausgeführt wird, im allgemeinen auf einer großen Seite **112** des Leiters, in Punkten **114** im Leiter mit einer halben Wellenlänge Abstand, das heißt $\lambda_g/2$.

[0030] Diese Wellenlänge λ_g genügt der Gleichung:

$$1/\lambda_g^2 = 1/\lambda_0^2 - 1/(2a)^2, \quad (1)$$

wobei a die Breite der großen Seite **112** des Rechteckleiters **110** und λ_0 die Wellenlänge der Mikrowellen im Vakuum ist.

[0031] Zur Bereitstellung der geforderten Leistungsaufteilung kann beispielsweise eine stationäre Welle

konstanter Amplitude erzeugt werden, mittels einer Reflexionsebene **130** (fester oder beweglicher Kurzschluß), die am Ende der Leiters **110** angeordnet ist, dem Eintritt der vom Generator **10** stammenden Mikrowellenleistung gegenüberliegend. Die Realisierung dieser Bedingung stationärer Wellen konstanter Amplitude impliziert, daß der Wellenleiter **110** die Ausbreitung nur einer einzigen Mode gestattet.

[0032] Somit ist der Leiter **110** im Rahmen der vorliegenden Erfindung derart ausgestaltet, daß er mit der Grundmode H_{10} oder der transversalen elektrischen Mode TE_{10} arbeitet.

[0033] Im Fall der Leistungsentnahme mittels einer elektrischen Antenne ist es angebracht, die Antennen **116** vorzugsweise im Intensitätsmaximum des elektrischen Felds anzuordnen.

[0034] Im Fall der Entnahme mittels einer magnetischen Antenne **116** (eine Schleife) ist es dagegen angebracht, die Antennen **116** im Intensitätsminimum des elektrischen Felds anzuordnen (Maximum des magnetischen Felds).

[0035] Damit die am Eingang der Vorrichtung zur Leistungsaufteilung **100** auftretende Gesamtimpedanz gleich der charakteristischen Impedanz des Leiters **110** ist (unitäre reduzierte Impedanz), muß die Summe der auf den Eingang des Teilers **100** zurückgeführten reduzierten Leitwerte (Fall elektrischer Kopplung) der Gesamtheit der Antennen **116** unitär sein. Um dies zu erreichen, ist es angebracht, die Eindringtiefe der elektrischen Antennen **116** in den Leiter **110** einzustellen oder die Position der Antennen **116** in Bezug auf die Achse des Leiters **110** seitlich zu verschieben oder aber diese beiden Möglichkeiten zu kombinieren. In entsprechender Weise kann für die magnetische Kopplung verfahren werden.

[0036] Als Beispiel hat die auf den Leitereingang zurückgeführte reduzierte (zurückgeführt auf die charakteristische Impedanz) Leitfähigkeit (reeller Anteil der Impedanz) einer Antenne **116** im Fall einer gleichmäßigen Aufteilung der Mikrowellenleistung auf N Lasten mittels einer elektrischen Kopplung die Form:

$$g = 1/N \quad (2)$$

[0037] Für eine gegebene Form und einen gegebenen Durchmesser muß die Länge der Antenne **116** demnach derart eingestellt werden, daß die Impedanz erhalten wird, die der gewünschten Aufteilung N der Leistung entspricht.

[0038] Ein Beispiel für den Verlauf der Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Länge der Antenne **116** ist in **Fig. 1** (für eine Antenne von 3 mm Durchmesser mit einem Kopf von 5 mm Durchmesser am Ende und einer Dicke von 2 mm) für Antennen dargestellt, die auf der Achse einer der großen Seiten **112** des Leiters **110** angeordnet sind.

[0039] Mit dem Ziel der Verringerung der Länge der Vorrichtung **100**, die im oben beschriebenen Aufbau $N\lambda_g/2$ beträgt, besteht eine Variante der Erfindung da-

rin, 2 Antennen **116** alle $\lambda_g/2$ auf beiden Seiten der Achse der großen Seite **112** des Leiters **110** anzuordnen, wie im ersten vorgestellten Aufbau. Wenn g_0 die Leitfähigkeit einer Antenne **116** auf der Achse ist, ist dieser Wert g im Abstand d von der Achse der großen Seite **112** des Leiters **110**:

$$g = g_0 \cos^2(\pi d/a) \quad (3)$$

[0040] Mit dem Ziel die Länge der Vorrichtung **100** noch weiter zu verringern, besteht eine weitere ergänzende Variante der Erfindung darin, Paare von Antennen **116**, wie im vorhergehenden Aufbau, sich einander gegenüberliegend auf jeder der beiden Flächen der großen Seiten **112** des Leiters **110** anzuordnen, wie dies schematisch in der **Fig. 3** dargestellt ist. Diese Möglichkeit ist jedoch hinsichtlich der realisierbaren Leitfähigkeit durch den Umstand begrenzt, daß die sich gegenüberliegenden Antennen **116** sich weder berühren noch zu nahe beieinander sein dürfen; die Wechselwirkung zwischen den sich gegenüberliegenden Antennen **116** führt zu einer Erhöhung der Leitfähigkeit jeder Antenne **116**.

[0041] Außer dem zuvor vorgestellten Aufbau mit einem Rechteckleiter **110** mit Reflexionsebene **130**, ist es möglich den einzigen Abschnitt des Rechteckleiters **110** mit seinen Antennen **116** in einen Ringresonator einzubringen. In diesem Fall ist es angebracht dafür zu sorgen, daß der Resonator im Modus mit stationären Wellen betrieben wird (und nicht im Modus mit fortschreitenden Wellen) und mittels Phaseneinstellelementen sicherzustellen, daß die Position der Maxima des elektrischen Felds der Mikrowellen im Ring der Position der Antennen **116** zur elektrischen Kopplung entspricht.

[0042] Eine andere Variante der Erfindung besteht darin, die Leistung auf dem Leiter durch Schlitze zu entnehmen, insbesondere im Rahmen einer Anwendung zur Leistungsübertragung zu Plasmaquellen **400** durch Wellenleiter.

[0043] Das zweite Element **200** der Erfindung ist dazu bestimmt, eine unabhängige und reflexionsfreie Leistungsübertragung zu jeder Quelle **400** bereitzustellen. Dies wird durch das Einbringen eines unidirektionalen Isolators **200** zwischen dem Ausgang der Antenne **116** des Teilerleiters **110** und der Übertragungsvorrichtung erreicht. Dieser wird im allgemeinen durch einen Zirkulator **210** mit drei Zweigen gebildet, der auf der Basis von Ferriten realisiert und dessen dritter Zweig durch eine angepaßte Last **212** abgeschlossen ist, die dazu bestimmt ist, alle von der Plasmaquelle **400** stammende reflektierte Leistung aufzunehmen. Eine gute Funktion dieser Vorrichtung erfordert im allgemeinen eine Isolation zwischen den Zweigen von mehr als 20 dB.

[0044] Das dritte Element **300** der Erfindung ist dazu bestimmt die Impedanzanpassung auf jede Quelle **400** zu gestatten, um für die so verfügbare Leistung sicherzustellen, daß sie in Abhängigkeit des Bedarfs mehr oder weniger vollständig im Plasma

aufgenommen wird. Dies kann durch klassische Impedanzanpassungsvorrichtungen erreicht werden, wie der verschiebbare Dipol oder ein System mit drei Kolben. Eine wesentliche erforderliche Eigenschaft dieser verschiedenen möglichen Vorrichtungen ist es, daß sie gleichzeitig auf den imaginären und den reellen Anteil der Impedanz einwirken können. Dies gestattet es, die Impedanz der Quelle **400** in Abhängigkeit der gewünschten Bedingungen des Plasma (Dichte, Länge etc.) einzustellen.

[0045] Eine typische vollständige Vorrichtung zur Leistungsaufteilung gemäß der Erfindung ist schematisch in **Fig. 4** dargestellt. Nach dem Mikrowellengenerator **10** (und eventuell seinem Schutzzirkulator) umfaßt sie aufeinanderfolgend den Leistungsteiler **100** mit seinem beweglichen Kurzschluß **130** und Übertragungsleitungen zu jeder Plasmaquelle **400**. Jede Übertragungsleitung umfaßt einen Zirkulator **210** und seine angepaßte Last **212** (die die reflektierte Leistung aufnimmt) sowie direkt stromaufwärts der Plasmaquelle **400** die Vorrichtung zur Impedanzanpassung **300**.

[0046] Das Hauptinteresse der Vorrichtung gemäß der Erfindung ist es, die Versorgung einer großen Anzahl von Plasmaquellen **400** mit einem einzigen Generator **10** zu gestatten. Außerdem ist die Realisierung dieser Vorrichtung auf der Basis einfacher Elemente möglich, von denen mehrere handelsüblich sind.

[0047] Eine Vorrichtung der Erfindung kann mit jedem Typ von Mikrowellenüberträger eingesetzt werden.

[0048] Ein wichtiger Vorteil der vorliegenden Erfindung ist die Möglichkeit, die Mikrowellenleistung auf eine beliebige Anzahl N von Antennen **116** zu verteilen, wobei N sogar eine ungerade Anzahl sein kann. Ebenso erlaubt die Erfindung die Unterdrückung einer oder mehrerer Plasmaleitungen ohne den Betrieb der anderen zu beeinflussen.

[0049] Die Erfindung, die es gestattet, jede Interferenz zwischen den Versorgungen der verschiedenen Plasmaquellen **400** zu vermeiden, ermöglicht die Durchführung einer schnellen Impedanzanpassung für jede der Plasmaquellen **400**.

[0050] Schließlich gestattet die Erfindung die Realisierung von besonders kompakten Vorrichtungen.

[0051] Ein bestimmtes aber nicht einschränkendes Anwendungsbeispiel, das die Erfindung veranschaulicht, umfaßt eine Vorrichtung zur Leistungsaufteilung auf 24 Lasten (schematisch in **Fig. 5** dargestellt), wobei der Standard-Rechteckwellenleiter **WR 340** verwendet wird, bei dem die große Seite **112** des Leiters **110** eine Breite von $a = 86$ mm aufweist (Breite der kleinen Seite des Leiters $b = 43$ mm). Bei einer Frequenz von 2,45 GHz beträgt die Vakuumwellenlänge $\lambda_0 = 122,45$ mm und die Wellenlänge im Leiter (Gleichung 1) beträgt:

$$\lambda_g = 174,4 \text{ mm} \quad (4)$$

[0052] Daher sind die Antennen **116** oder Antennen-gruppen entlang des Wellenleiters **110** im Abstand von $\lambda_g/2$, also 87,2 mm, angeordnet.

[0053] Die reduzierte Leitfähigkeit g der Antenne **116** (Gleichung 2) für eine gleichmäßige Aufteilung von $N = 24$ erfordert:

$$g = 0,0417 \quad (5)$$

[0054] Die entsprechende Leitfähigkeit g_0 einer auf der Achse einer großen Seite des Leiters angeordneten ($d = 0$) Antenne **116** derselben Länge l beträgt, gegeben durch Gleichung (3), für einen Abstand von der Achse der großen Seite des Leiters von $d = 26$ mm:

$$g_0 = 0,123 \quad (6)$$

Die experimentell ermittelte reduzierte Impedanz g_0 einer Antenne **116** der Länge l ist in **Fig. 1** dargestellt. Die dem durch Gleichung (6) gegebenen Impedanzwert entsprechende Länge l der Antenne beträgt in etwa (**Fig. 1**):

$$l = 12,75 \text{ mm} \quad (7)$$

[0055] Infolgedessen ist der so realisierte Leistungsteiler **100** durch **24**, so wie in **Fig. 5** schematisch dargestellt, relativ kompakt, da seine Gesamtlänge **5** halben Wellenlängen entspricht (plus der Platzbedarf für die Entnahmeantennen und ihre Koaxialanschlüsse).

[0056] Selbstverständlich umfaßt jede der **24** aus dem Teiler **100** austretenden Übertragungsleitungen aufeinanderfolgend einen Isolator **200** mit seiner angepaßten Last **212** und die Impedanzanpassung **300** direkt stromaufwärts der Plasmaquelle **400**.

[0057] Außerhalb der Plasmen kann die Vorrichtung gemäß der Erfindung in allen Verfahren eingesetzt werden, in denen Impedanzschwankungen auf einer der N Übertragungsvorrichtungen auftreten können, die unabhängig voneinander vom Teiler der Mikrowellenleistung versorgt werden.

[0058] Selbstverständlich ist die vorliegende Erfindung nicht auf die bestimmten Ausführungsformen beschränkt, die hier beschrieben wurden.

[0059] So kann in einer Variante eine in Bezug auf die Achse der großen Seite des Leiters nicht-symmetrische Anordnung der Antennen vorgesehen werden.

Patentansprüche

1. Mikrowellensystem, das folgendes umfaßt:

- einen Mikrowellengenerator (**10**),
- einen mit dem Generator (**10**) gekoppelten Rechteckleiter (**110**), der zum Arbeiten in einer Grundmode (H_{10}) oder transversal elektrischen Mode (TE_{10}) ausgestaltet ist, und Mitteln zugehört, die ein Verhalten stehender Wellen sicherstellen,

– mehrere Leistungsaufnehmer (**116**), die im Leiter (**110**) in Höhe von Zonen maximaler Amplitude von einer der Komponenten des elektromagnetischen Feldes angeordnet sind, um eine Aufteilung der Leistung des Generators (**10**) sicherzustellen, **dadurch gekennzeichnet**, daß

– die Leistungsaufnehmer (**116**) derart abgeglichen sind, daß die Summe ihrer reduzierten Leitwerte, die am Eingang des durch den Rechteckleiter (**110**) gebildeten Teilers zurückgeführt sind, unitär ist,

– mehrere Quellen (**400**), die jeweils mit einem Aufnehmer (**116**) des Leiters (**110**) gekoppelt sind, mittels

– eines Isolatormittels (**200**), das eine Leistungsübertragung vom Aufnehmer (**116**) in Richtung der Quelle (**400**) sicherstellt, ohne Reflexion in Richtung des Aufnehmers (**116**),

– wobei eine Einrichtung (**300**) zum Anpassen der Impedanz jeder Quelle (**400**) stromab des Isolatormittels (**200**) zwischen dem letzteren und der zugehörigen Quelle (**400**) gelegen ist.

2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens eine der Quellen (**400**) eine Plasmaquelle ist.

3. System nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Leiter (**110**) eine Reflexionsebene (**130**) umfaßt, die einen festen oder mobilen Kurzschluß bildet, um einen Zustand stehender Wellen sicherzustellen.

4. System nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Rechteckleiter (**110**) mit seinen Aufnehmern (**116**) in einem Ringresonator platziert ist.

5. System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistungsaufnehmer aus elektrischen Antennen gebildet sind, die im Intensitätsmaximum des elektrischen Feldes gelegen sind.

6. System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistungsaufnehmer (**116**) aus magnetischen Antennen gebildet sind, die im Intensitätsminimum des elektrischen Feldes gelegen sind.

7. System nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistungsaufnehmer (**116**) aus Schlitzen gebildet sind.

8. System nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistungsaufnehmer (**116**) an einer großen Seite (**112**) des Leiters (**110**) gelegen sind.

9. System nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Leistungsaufnehmer

(**116**) im Leiter (**110**) um eine halbe Wellenlänge ($\lambda_g/2$) beabstandet sind.

10. System nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß es wenigstens ein Paar Antennen (**116**) umfaßt, die auf der einen bzw. der anderen Seite der Achse der großen Seite (**112**) des Leiters (**110**) angeordnet sind.

11. System nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß es wenigstens ein Paar Antennen (**116**) umfaßt, die symmetrisch auf der einen bzw. der anderen Seite der Achse der großen Seite (**112**) des Leiters (**110**) angeordnet sind.

12. System nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß es wenigstens ein Paar Antennen (**116**) aufweist, die auf der einen bzw. der anderen Seite der Achse einer großen Seite (**112**) des Leiters (**110**) angeordnet sind, jeweils auf jeder der großen Seiten (**112**) des Leiters.

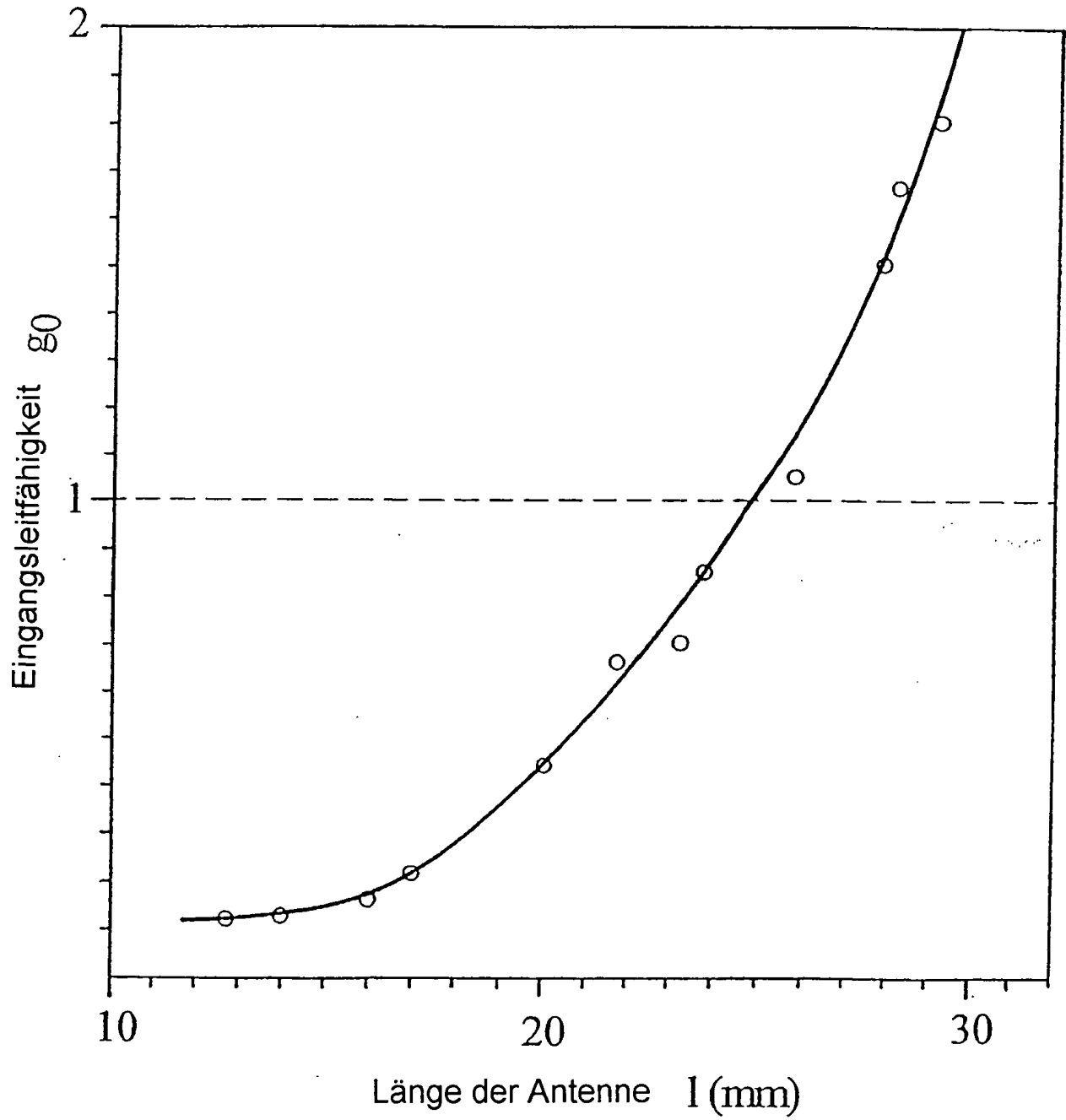
13. System nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß es wenigstens ein Paar Antennen (**116**) aufweist, die symmetrisch auf der einen bzw. der anderen Seite der Achse einer großen Seite (**112**) des Leiters (**110**) angeordnet sind, jeweils auf jeder der großen Seiten (**112**) des Leiters.

14. System nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß das Isolatormittel (**200**) aus einem Zirkulator (**210**) mit drei Zweigen gebildet ist, der mit einem seiner Zweige einer angepaßten Last (**212**) zugehört.

15. System nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die Impedanzanpassungseinrichtung (**300**) aus der Gruppe ausgewählt ist, die einen hin- und herbewegbaren Dipol oder ein System mit drei Kolben umfaßt.

16. System nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß für eine gleiche Aufteilung der Mikrowellenleistung durch N gleich N identische Antennen mit verminderter Leitfähigkeit vorgesehen sind, die am Eingang des Leiters zurückgeführt sind, mit $g = 1/N$.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG.1

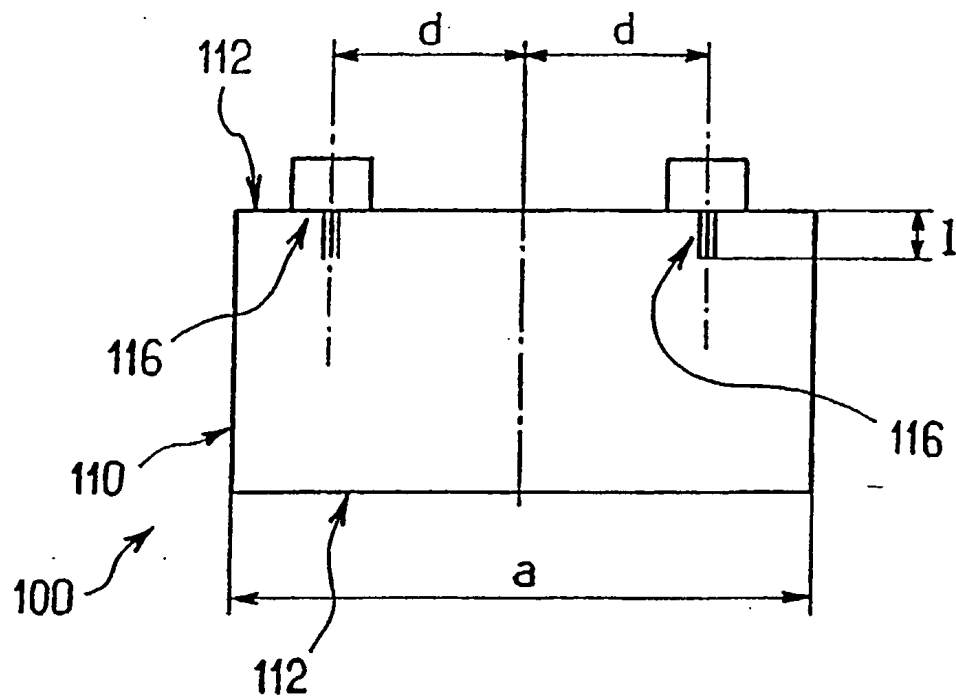


FIG. 2

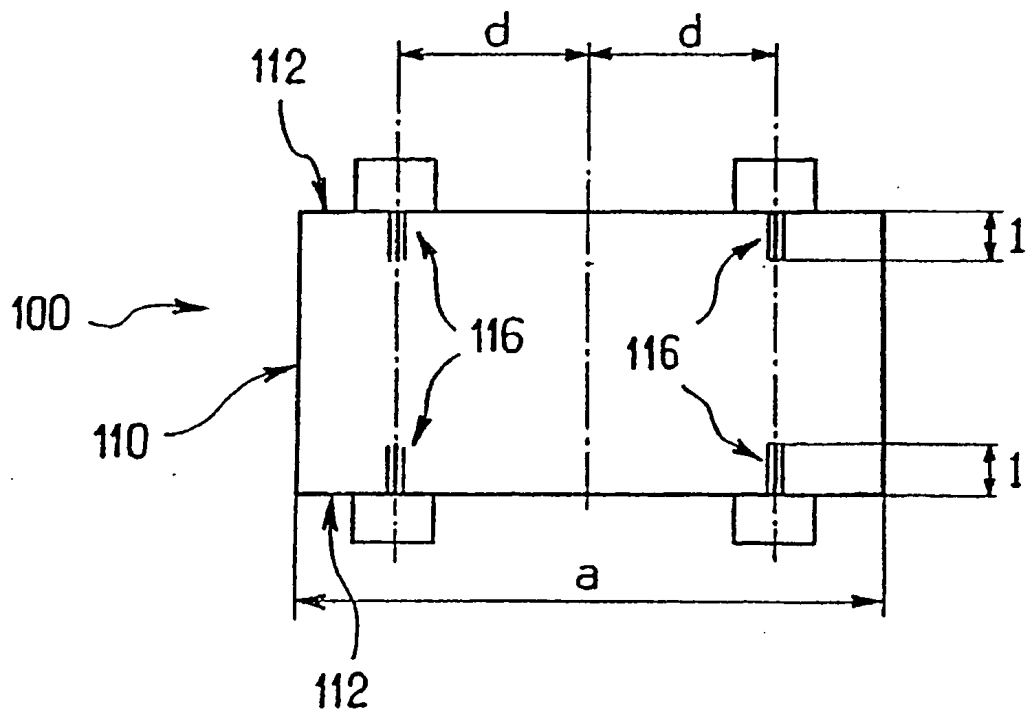
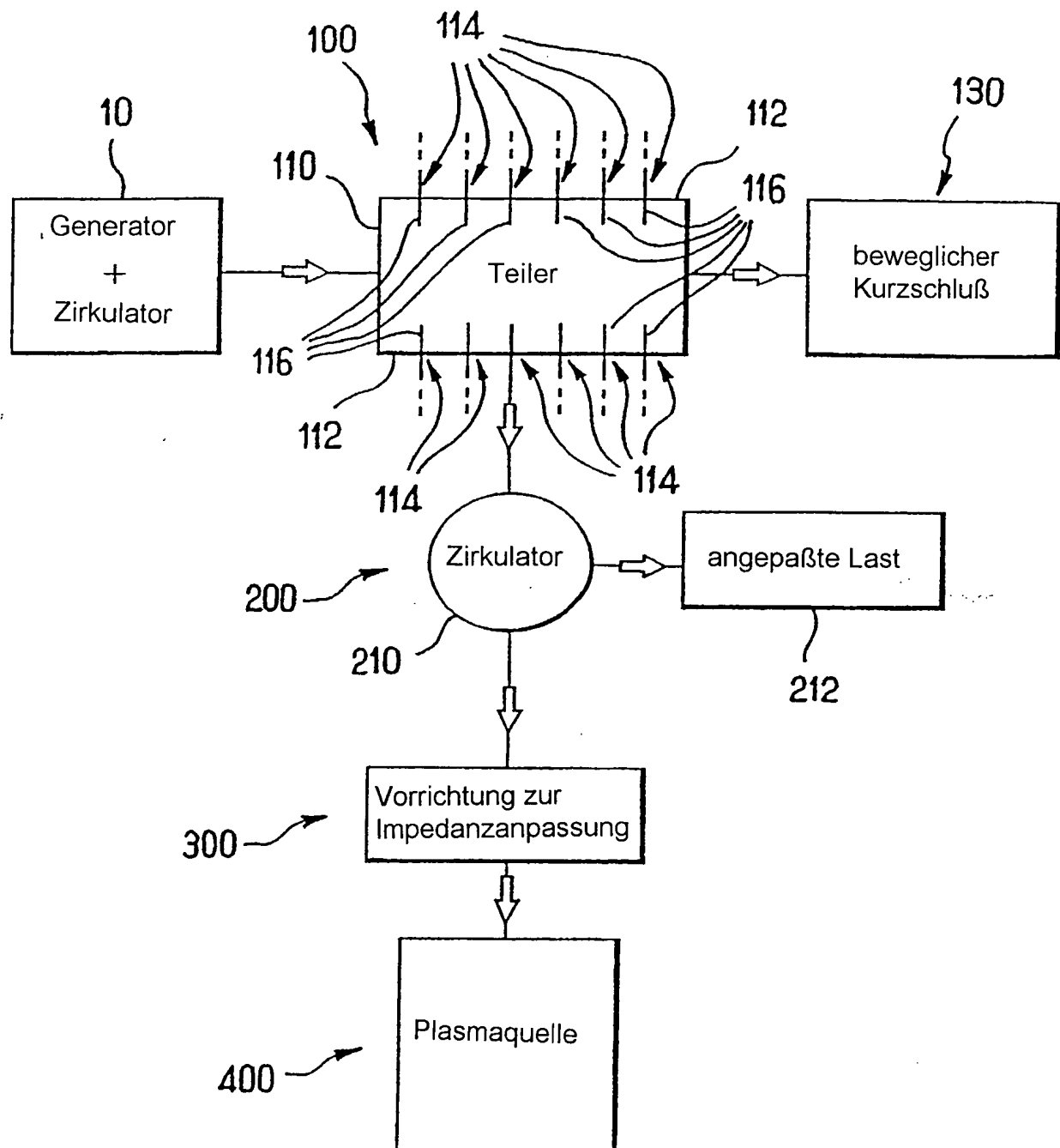


FIG. 3

FIG. 4

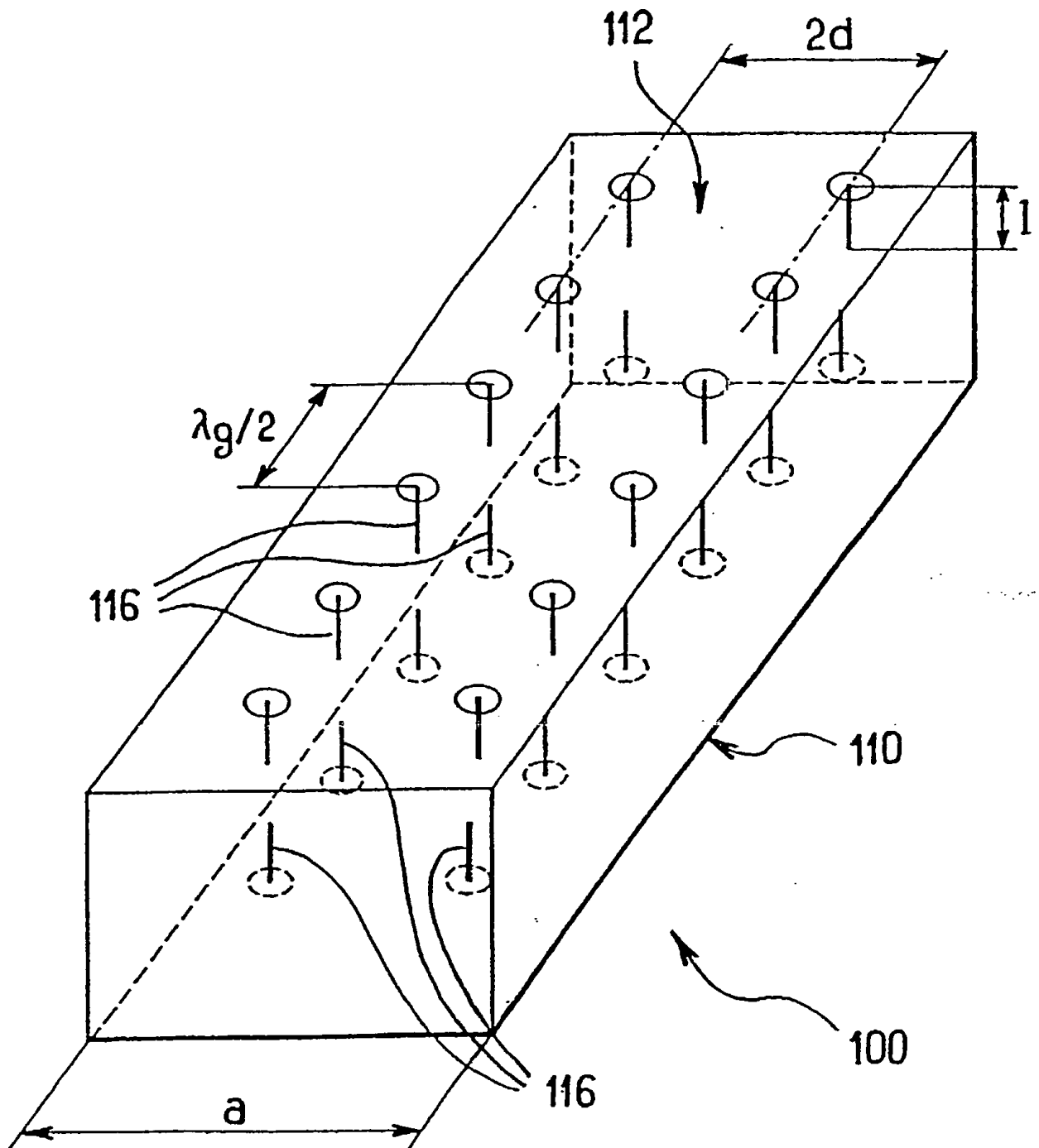


FIG. 5