



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 1 152 641 B1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTSCHRIFT

(45) Veröffentlichungstag und Bekanntmachung des
Hinweises auf die Patenterteilung:
01.02.2006 Patentblatt 2006/05

(51) Int Cl.:
H05B 6/64 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **01105940.9**

(22) Anmeldetag: **09.03.2001**

(54) Mikrowellenofen zum Aufheizen von Brenngut

Microwave oven heating goods to be heated

Four à micro-ondes destiné au chauffage de matières à chauffer

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT CH DE LI

(30) Priorität: **03.05.2000 DE 10021528**

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.11.2001 Patentblatt 2001/45

(73) Patentinhaber:
• **Püschner GmbH & Co. KG**
28790 Schwanewede (DE)
• **Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der**
angewandten Forschung e.V.
80686 München (DE)

(72) Erfinder:
• **Raether, Friedrich, Dr. Phys.**
97204 Höchberg (DE)
• **Baber, Jens, Dipl.-Ing.**
97082 Würzburg (DE)
• **Püschner, Peter-A., Dipl.-Ing.**
28790 Schwanewede (DE)

(74) Vertreter: **Eisenführ, Speiser & Partner**
Patentanwälte Rechtsanwälte
Postfach 10 60 78
28060 Bremen (DE)

(56) Entgegenhaltungen:
WO-A-95/05058 DE-A- 19 633 247
DE-A- 19 700 140 GB-A- 1 233 030

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).

EP 1 152 641 B1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Mikrowellenofen zum Aufheizen von Brenngut, mit mindestens einer Mikrowellenquelle, einem Hohlraumresonator, einer Koppelpvorrichtung zum Ein- und Auskoppeln eines Mikrowellenfeldes in den Hohlraumresonator.

[0002] Bei der Mikrowellenerwärmung wird im Unterschied zur konventionellen Ofenheizung die Wärmeenergie nicht an der Oberfläche eines Bauteils, sondern im Inneren eingeführt. Beim schnellen Aufheizen mit Aufheizraten von mehr als 200 K/min - wie es für viele technische Prozesse erforderlich ist - entstehen beim konventionellen Ofen große Temperaturgradienten zwischen der heißeren Bauteiloberfläche und dem kälteren Innenbereich. Bei der schnellen Mikrowellenerwärmung entstehen ebenfalls Temperaturgradienten -jedoch in umgekehrter Richtung.

[0003] Die Temperaturunterschiede betragen mehrere hundert Kelvin und führen zur Zerstörung der Bauteile aufgrund von Wärmespannungen. Durch verschiedene Maßnahmen wurde versucht, diese Temperaturgradienten zu beseitigen: So wurden zusätzliche Absorber für die Mikrowellenenergie -sogenannte Suszeptoren - in den Mikrowellenresonator eingebracht. Diese erwärmen sich zunächst selbst und geben dann Wärmeenergie an das Bauteil ab. Es werden auch für die Mikrowellen transparente Isolationen - sogenannte Caskets - eingesetzt, die das Brenngut einhüllen. Die Temperaturgradienten lassen sich mit den erwähnten Methoden verringern, jedoch ist eine präzise und schnelle Steuerung des Energieeintrags über die Bauteiloberfläche bzw. das Bauteilvolumen nicht möglich.

[0004] Zur Verringerung eines unerwünscht großen Temperaturgradienten bei der Erhitzung des Brennguts wurden bereits verschiedene Typen von Hybridöfen entwickelt. Bei ihnen erfolgt die Aufheizung mit Mikrowellenenergie und gleichzeitig mit anderen Heizverfahren: Z.B. durch Widerstandsheizung, Gasbefeuerung und Infrarotstrahlung. Die zusätzlichen Heizverfahren dienen zur kontrollierten Oberflächenheizung des Brennguts. Hierzu liegen zahlreiche Patentanmeldungen vor (vgl. z.B. DE 196 33 247 C2). Hybridöfen sind jedoch wegen der Kombination zweier Heiztechniken per se aufwendiger in der Herstellung, komplizierter in der Regelung und fehleranfälliger im Betrieb als reine Mikrowellenöfen.

[0005] Aufgabe der Erfindung ist es, einen Mikrowellenofen der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, dass auch bei einem sehr schnellen Aufheizen des Brenngutes unerwünscht große Temperaturgradienten zwischen dem Innenbereich des Brennguts und dessen Oberfläche vermieden werden.

[0006] Diese Aufgabe wird bei dem Mikrowellenofen der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass in vorgegebenem Abstand und Ausrichtung zu dem Brenngut mindestens ein Mikrowellen-Suszeptorelement angeordnet ist, welches sich unter der Wirkung des Mikrowellenfeldes volumenmäßig aufheizt und

Wärmeenergie an das Brenngut abstrahlt, und dass auf die Mikrowellenquelle und/oder den Hohlraumresonator einwirkende Stellmittel vorgesehen sind, welche an der Position des Brenngutes und an der Position des/der Suszeptorelemente ein starkes Mikrowellenfeld erzeugen.

[0007] Die Vorteile der Erfindung liegen insbesondere darin, dass ein oder mehrere Mikrowellen-Suszeptorelemente in dem Hohlraumresonator vorgesehen sind, und dass der Hohlraumresonator während eines Betriebsintervalles mit einer ersten Mikrowellenmode angeregt wird, bei der an den Positionen der Suszeptorelemente ein starkes Mikrowellenfeld erzeugt wird, welches die Suszeptorelemente volumenmäßig aufheizt, die daraufhin ihre Wärmeenergie als Strahlungsenergie gegen das Brenngut abgeben und auf diese Weise das Brenngut an der Oberfläche erhitzt. In einem zweiten Betriebsintervall wird der Hohlraumresonator dann mit einer zweiten Mikrowellenmode erregt, die ihr Maximum im Bereich des Brenngutes hat, so dass dann das Brenngut volumenmäßig von dem Mikrowellenfeld erhitzt wird, während die von den Suszeptorelementen abgegebene Wärmestrahlung noch anhält und die Oberfläche des Brenngutes auf einer hohen Temperatur hält. Auf diese Weise wird der Temperaturgradient vom Innenbereich des Brennguts zu seiner Oberfläche hin reduziert. Durch schnelle aktive Stellelemente für das Mikrowellenfeld werden die Resonanzbedingungen so verändert, dass entweder an der Position des Brenngutes oder an der Position der Suszeptorelemente ein Feldstärkemaximum vorliegt. Durch die Steuerung der zeitlichen Dauer der beiden Betriebsintervalle sowie durch die Steuerung der während der beiden Betriebsintervalle vorliegenden Amplituden des Mikrowellenfeldes lässt sich der Energieeintrag über die Brenngut-Oberfläche bzw. in das Brenngut-Volumen so steuern, dass der Temperaturgradient zwischen dem heißeren Innenbereich und der kühleren Brenngut-Oberfläche in gewünschter Weise einstellt, so dass unerwünschte Wärmespannungen in dem Brenngut weitgehend vermieden werden können.

[0008] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung lassen sich die beiden Betriebsintervalle, die Suszeptorelemente bzw. das Brenngut durch ein Mikrowellenfeld, d.h. durch zwei verschiedene Mikrowellenmoden aufgeheizt werden, auch zeitlich überlagern, so dass gleichzeitig die beiden Mikrowellenmoden im Hohlraumresonator erregt werden.

[0009] Ähnlich wie im Fall eines zeitlichen Wechsels bei einer einzigen Frequenz muss dann für den einen Mikrowellentyp ein Feldstärkemaximum an der Position des Brennguts und für den anderen ein Maximum an der Position der Suszeptorelemente vorhanden sein. Die Intensität der beiden Mikrowellentypen wird variiert.

[0010] Werden die Suszeptoren stärker erwärmt als das Brenngut, so dominiert im wesentlichen der Energieeintrag durch Oberflächenerwärmung. (Die Suszeptoren sind in der Regel geometrisch so angeordnet, dass sie die Bauteiloberfläche/n gleichmäßig erwärmen.) Um-

gekehrt kann das Brenngut volumenmäßig stärker erwärmt werden als die Suszeptoren, so dass in erster Linie eine Volumenerwärmung stattfindet.

[0011] Die Temperaturen von Suszeptoren und Brenngut können z.B. mit Pyrometern überwacht werden. Überraschend wurde festgestellt, dass auf diese Weise eine sehr schnelle und präzise Kontrolle von Oberflächen- und Volumenheizung möglich ist. Da ausschließlich Mikrowellenenergie verwendet wird, lässt sich ein entsprechender Ofen im Vergleich zu komplizierten Hybridheiztechniken günstig realisieren. Im Unterschied zu Mikrowellenöfen, bei denen geschlossene Caskets eingesetzt werden, lässt sich der vorgeschlagene Ofen mit In-Situ-Messtechniken kombinieren. Auf diese Weise kann der Mikrowellenerwärmungsprozess ständig überwacht und präzise gesteuert werden.

[0012] Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass auch eine Kombination mit einer externen Strahlungsheizung möglich ist - durch zusätzliche Fenster kann die Bauteiloberfläche mit Wärmeenergie beaufschlagt werden. Diese Fenster können auch dazu genutzt werden, einen schnellen Wechsel der Bauteile in einer Serienfertigung zu gewährleisten.

[0013] Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind durch die Merkmale der Unteransprüche gekennzeichnet.

[0014] Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Mikrowellenofens; und

Fig. 2 ein Blockschaltbild zum Betreiben des Mikrowellenofens gemäß Fig. 1.

[0015] Fig. 1 zeigt eine Prinzipdarstellung eines Mikrowellenofens 1, der zur schnellen Oberflächenerwärmung und Volumenerwärmung von Brenngut dient. Ein Hohlraumresonator 2 besitzt eine zylindrische Form und weist an seinen beiden Stirnseiten 3 je eine Koppereinrichtung 4 auf, welche zum Einkoppeln und Auskoppeln von Mikrowellenenergie dient. Der Hohlraumresonator 2 ist in seinem Innenraum an seiner inneren Oberfläche mit Isoliermaterial 8 ausgekleidet, um Wärmeverluste nach außen zu reduzieren. In dem freien Innenraum 5 des Hohlraumresonators ist - in der dargestellten Ausführungsform in einer zentralen Position - das Brenngut 20 angeordnet, in vorgegebenem Abstand vom Brenngut 20 sind Suszeptorelemente 10 positioniert, die in der dargestellten Ausführungsform als Scheiben ausgebildet sind. Die Umfangswand 7 des Hohlraumresonators 2 besitzt zwei Fenster 6, außerhalb der Fenster befindet sich ein Pyrometer 22 zur Messung der Temperatur eines Suszeptorelements 10, und ein zweites Pyrometer 24, welches auf das Brenngut 20 gerichtet ist und die Temperatur des Brenngutes misst. Das Isoliermaterial 8 besitzt entsprechende Kanäle, um den Strahlengang der Pyrometer 22,

24 auf das Brenngut und die Suszeptorelemente 10 freizugeben.

[0016] Fig. 2 zeigt ein Blockschaltbild des Mikrowellenschaltkreises. Dieser besteht aus dem Hohlraumresonator 2, an dessen eine Stirnseite eine Koppereinrichtung 4 in den Hohlraumresonator 2 hineinragt. An die eine Koppereinrichtung 4 ist ein Phasenschieber 30 angeschlossen, der über eine variable Impedanz 32 mit der Mikrowellenquelle 34, beispielsweise einem Magnetron, verbunden ist. Auf der anderen Stirnseite des Hohlraumresonators 2 ist ebenfalls eine Koppereinrichtung 4 vorgesehen, die über einen Phasenschieber 30 an einer variablen Impedanz 32 liegt. Einer der Phasenschieber 30 ist elektronisch steuerbar ausgebildet. Der Resonator wird im E_{01n} -Modus betrieben, so dass das Mikrowellenfeld Zylindersymmetrie besitzt. Die Feldverteilung entlang der Zylinderachse kann mit Hilfe der Phasenschieber 30 innerhalb von wenigen hundert Millisekunden so verändert werden, dass entweder die beiden Suszeptorscheiben 10 oder das Brenngut 20 in einem Feldstärkemaximum liegen. Phasenschieber 30 und variable Impedanz 32 werden als Stellmittel bezeichnet und wirken in dem dargestellten Beispiel auf die Koppereinrichtung 4 des Hohlraumresonators 2 ein, um die Feldkonfiguration in der gewünschten Weise zu verändern. Alternativ können die Stellmittel auch direkt auf die Mikrowellenquelle und/oder auf die geometrische Konfiguration des Hohlraumresonators 2 oder auf andere Elemente einwirken, die im Hohlraumresonator 2 zum Zwecke der Feldkonfigurationsänderung vorgesehen sind.

[0017] Mit Hilfe der Pyrometer 22, 24 werden die entsprechenden Oberflächentemperaturen des Brennguts 20 und der Suszeptorelemente 10 erfasst. Die Betriebsintervalle, nahe derer die Suszeptorelemente 10 bzw. das Brenngut 20 aufgeheizt wird, werden zeitlich so gesteuert, dass stets die gewünschte Temperaturdifferenz zwischen den Suszeptorelementen 10 und dem Brenngut 20 aufrechterhalten wird.

[0018] Die Koppereinrichtungen 4 enthalten in den Hohlraumresonator 2 hineinragende Antennen, die bevorzugt innen hohl sind und in ihrem Hohlkanal die Zuführung oder Ableitung von Ofengas ermöglichen oder eine In-Situ-Messung von Eigenschaften des Brenngutes oder der Suszeptorelemente während der Mikrowellenerwärmung zulassen. Durch zusätzliche Fenster ist eine weitere Prozessüberwachung beispielsweise durch CCD-Kameras möglich.

50 Patentansprüche

1. Mikrowellenofen zum Aufheizen von Brenngut, mit mindestens einer Mikrowellenquelle, einem Hohlraumresonator, der eine Einkoppelvorrichtung zum Ein- und Auskoppeln eines Mikrowellenfeldes in den Hohlraumresonator enthält, **dadurch gekennzeichnet, dass** in vorgegebenem Abstand und Ausrichtung zu dem Brenngut (20) mindestens ein Mi-

- krowellen-Suszeptorelement (10) angeordnet ist, welches sich unter der Wirkung des Mikrowellenfeldes volumenmäßig aufheizt und Wärmeenergie an das Brenngut (20) abstrahlt, und dass auf die Mikrowellenquelle (34) und/oder den Hohlraumresonator (2) einwirkende Stellmittel (30, 32) vorgesehen sind, welche an der Position des Brenngutes (20) und/oder an der Position des/der Suszeptorelemente (10) ein starkes Mikrowellenfeld erzeugen.
2. Mikrowellenofen nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stellmittel (30, 32) auf die Einkoppelvorrichtung (4) einwirken, um an der Position des Brenngutes (20) und/oder an der Position mindestens eines Suszeptorelementes (10) ein starkes Mikrowellenfeld zu erzeugen.
 3. Mikrowellenofen nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stellmittel (30, 32) auf die Einkoppelvorrichtung (4) des Mikrowellenfeldes entsprechend der mittels eines Pyrometers (22) der erfassten Temperatur des Brenngutes derart einwirken, dass an der Position eines Suszeptorelementes (10) ein Mikrowellenfeld vorherrscht, welches die gewünschte Temperatur an der Position des Brenngutes (20) erzeugt.
 4. Mikrowellenofen nach Anspruch 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stellmittel gleichzeitig oder nacheinander an der Position des Brenngutes (20) an der Position des/der Suszeptorelemente(s) (10) ein Maximum des Mikrowellenfeldes erzeugen.
 5. Mikrowellenofen nach Anspruch 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stellmittel in dem Hohlraumresonator eine erste Mikrowellenmode, welche an der Position des/der Suszeptorelemente (10) ein Feldstärke-Maximum aufweist, und anschließend eine zweite Mikrowellenmode erzeugen, welche an der Position des Brenngutes (20) ein Feldstärke-Maximum aufweist.
 6. Mikrowellenofen nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Stellmittel zwischen der Mikrowellenquelle (1) und der Einkoppelvorrichtung (4) einen Phasenschieber (30) und ggf. eine variable Impedanz (32) enthalten.
 7. Mikrowellenofen nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Hohlraumresonator (2) eine Zylinderform besitzt und an seinen gegenüberliegenden Stirnseiten je eine Koppelvorrichtung (4) aufweist, dass eine Koppelvorrichtung (4) über einen Phasenschieber (30) und eine variable Impedanz (32) an der Mikrowellenquelle (1) liegt, und dass die andere Koppelvorrichtung (4) über einen Phasenschieber (30) mit einer variablen Impedanz (32) verbunden ist.
 8. Mikrowellenofen nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Phasenschieber (30) elektrisch steuerbar ist.
 9. Mikrowellenofen nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** ein erstes Pyrometer (22), welches **durch** ein Fenster (6) in der Wandung des Hohlraumresonators (2) die Temperatur des Brenngutes (20) misst.
 10. Mikrowellenofen nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** ein zweites Pyrometer (24), welches **durch** ein Fenster (6) in der Wandung des Hohlraumresonators (2) die Temperatur eines Suszeptorelementes (10) misst.
 11. Mikrowellenofen nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** eine Wärmeisolierung (8) an der inneren Oberfläche des Hohlraumresonators (2).
 12. Mikrowellenofen nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Brenngut (20) in der Mitte des Hohlraumresonators (2) positioniert ist, und dass die Suszeptorelemente (10) als Scheiben ausgebildet sind, die in vorgegebenem Abstand vom Brenngut (20) positioniert sind.
 13. Mikrowellenofen nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein zusätzliches Fenster in der Wandung des Hohlraumresonators (2) vorgesehen ist, und dass außerhalb des Hohlraumresonators (2) eine Strahlungsheizung angeordnet ist, welche das Brenngut (20) durch das Fenster hindurch mit Wärmeenergie beaufschlagt.

Claims

1. Microwave oven for heating goods with at least one microwave source, a hollow resonator, which contains a connecting device for connecting and disconnecting a microwave field in the hollow resonator, **characterised in that** at a given distance from and alignment to the goods to be heated (20) there is at least one microwave-susceptor element (10), which is heated in volume under the effect of the microwave field and radiates heat energy to the goods to be heated (20), and **in that** actuating means (30, 32) acting on the microwave source (34) and/or the hollow resonator (2) are provided, which at the position

of the goods to be heated (20) and/or at the position of the susceptor element(s) (10) produce a strong microwave field.

2. Microwave oven according to claim 1, **characterised in that** the actuating means (30, 32) act on the connecting device (4) in order to produce a strong microwave field at the position of the goods to be heated (20) and/or at the position of at least one susceptor element (10).
3. Microwave oven according to claim 1 or 2, **characterised in that** the actuating means (30, 32) act on the connecting device (4) of the microwave field according to the temperature of the goods detected by a pyrometer (22), so that at the position of a susceptor element (10) there is a microwave field, which produces the desired temperature at the position of the goods to be heated (20).
4. Microwave oven according to claims 1 to 3, **characterised in that** the actuating means at the same time or in succession at the position of the goods to be heated (20) produce a maximum of the microwave field at the position of the susceptor element(s) (10).
5. Microwave oven according to claims 1 to 4, **characterised in that** the actuating means in the hollow resonator has a first microwave mode which at the position of the susceptor element(s) (10) has a maximum field strength, and afterwards generates a second microwave mode which has a maximum field strength at the position of the goods to be heated (20).
6. Microwave oven according to one of claims 1 to 5, **characterised in that** the actuating means between the microwave source (1) and the connecting device (4) contain a phase slide (30) and if necessary a variable impedance (32).
7. Microwave oven according to one of claims 1 to 6, **characterised in that** the hollow resonator (2) has a cylindrical shape and on each of its opposite end sides has a connecting device (4), **in that** a connecting device (4) lies via a phase slide (30) and a variable impedance (32) at the microwave source (1), and **in that** the other slide connecting device (4) is connected via a phase slide (30) to a variable impedance (32).
8. Microwave oven according to claim 6 or 7, **characterised in that** the phase slide (30) can be controlled electrically.
9. Microwave oven according to one of the preceding claims, **characterised by** a first pyrometer (22) which measures the temperature of the goods to be

heated (20) through a window (6) in the wall of the hollow resonator (2).

10. Microwave oven according to one of the preceding claims, **characterised by** a second pyrometer (24) which measures the temperature of a susceptor element (10) through a window (6) in the wall of the hollow resonator (2).
11. Microwave oven according to one of the preceding claims, **characterised by** heat insulation (8) on the inner surface of the hollow resonator (2).
12. Microwave oven according to one of the preceding claims, **characterised in that** the goods to be heated (20) are positioned in the middle of the hollow resonator (2), and **in that** the susceptor elements (10) are designed as slides which are positioned at a prespecified distance from the goods to be heated (20).
13. Microwave oven according to one of the preceding claims, **characterised in that** an additional window is provided in the wall of the hollow resonator (2), and **in that** a radiation heater is arranged outside the hollow resonator (2) which charges the goods to be heated (20) with heat energy through the window.

30 Revendications

1. Four à micro-ondes destiné à chauffer des produits à chauffer, comprenant au moins une source de micro-ondes, une cavité résonante qui contient un dispositif de couplage pour le couplage et le découplage d'un champ à micro-ondes dans la cavité résonante, **caractérisé en ce qu'**à distance et orientation prédéfinies du produit à chauffer (20), on dispose au moins un élément susceptible de micro-ondes (10), qui chauffe de manière volumétrique sous l'effet du champ à micro-ondes et rayonne de l'énergie thermique vers le produit à chauffer (20) et **en ce que** des moyens de commande (30, 32) agissant sur la source de micro-ondes (34) et/ou la cavité résonante (2) sont prévus, lesquels produisent un fort champ à micro-ondes au niveau de la position du produit à chauffer et/ou au niveau de la position du ou des éléments susceptibles (10).
2. Four à micro-ondes selon la revendication 1, **caractérisé en ce que** les moyens de commande (30, 32) agissent sur le dispositif de couplage (4) afin de produire un fort champ à micro-ondes au niveau de la position du produit à chauffer (20) et/ou au niveau de la position d'au moins un élément susceptible (10).
3. Four à micro-ondes selon la revendication 1 ou 2,

- caractérisé en ce que** les moyens de commande (30, 32) agissent sur le dispositif de couplage (4) du champ à micro-ondes en fonction de la température du produit à chauffer détectée au moyen d'un pyromètre (22), de telle sorte qu'il règne au niveau de la position d'un élément susceptible (10) un champ à micro-ondes qui produit la température souhaitée au niveau de la position du produit à chauffer (20).
4. Four à micro-ondes selon les revendications 1 à 3, **caractérisé en ce que** les moyens de commande produisent simultanément ou l'un après l'autre au niveau de la position du produit à chauffer (20), au niveau de la position du ou des éléments susceptibles (10), un maximum de champ à micro-ondes. 5 10 15
 5. Four à micro-ondes selon les revendications 1 à 4, **caractérisé en ce que** les moyens de commande produisent, dans la cavité résonante, un premier mode de micro-ondes qui présente un maximum d'intensité de champ au niveau de la position du ou des éléments susceptibles (10), et ensuite un deuxième mode de micro-ondes qui présente un maximum d'intensité de champ au niveau de la position du produit à chauffer (20). 20 25
 6. Four à micro-ondes selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, **caractérisé en ce que** les moyens de commande contiennent, entre la source de micro-ondes (1) et le dispositif de couplage (4), un déphaseur (30) et éventuellement une impédance variable (32). 30
 7. Four à micro-ondes selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, **caractérisé en ce que** la cavité résonante (2) possède une forme cylindrique et présente sur ses côtés frontaux opposés à chaque fois un dispositif de couplage (4), **en ce qu'un** dispositif de couplage (4) s'applique à la source de micro-ondes (1) par le biais d'un déphaseur (30) et d'une impédance variable (32) et **en ce que** l'autre dispositif de couplage (4) est connecté à une impédance variable (32) par le biais d'un déphaseur (30). 35 40
 8. Four à micro-ondes selon la revendication 6 ou 7, **caractérisé en ce que** le déphaseur (30) peut être commandé électriquement. 45
 9. Four à micro-ondes selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé par** un premier pyromètre (22) qui mesure à travers une fenêtre (6) dans la paroi de la cavité résonante (2) la température du produit à chauffer (20). 50
 10. Four à micro-ondes selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé par** un deuxième pyromètre (24) qui mesure à travers une fenêtre (6) dans la paroi de la cavité résonante (2) la température d'un élément susceptible (10). 55
 11. Four à micro-ondes selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé par** une isolation thermique (8) au niveau de la surface interne de la cavité résonante (2).
 12. Four à micro-ondes selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce que** le produit à chauffer (20) est placé au milieu de la cavité résonante (2), et **en ce que** les éléments susceptibles (10) sont réalisés sous forme de disques qui sont placés à une distance prédéfinie du produit à chauffer (20).
 13. Four à micro-ondes selon l'une quelconque des revendications précédentes, **caractérisé en ce qu'une** fenêtre supplémentaire est prévue dans la paroi de la cavité résonante (2), et **en ce qu'en** dehors de la cavité résonante (2) est disposé un chauffage par rayonnement qui sollicite le produit à chauffer (20) à travers la fenêtre avec de l'énergie thermique.

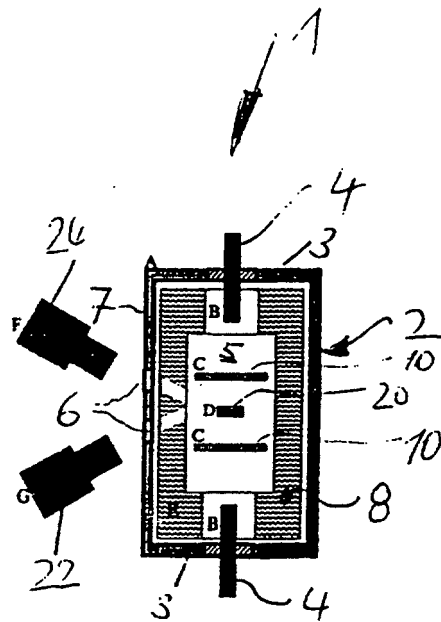


Fig. 1

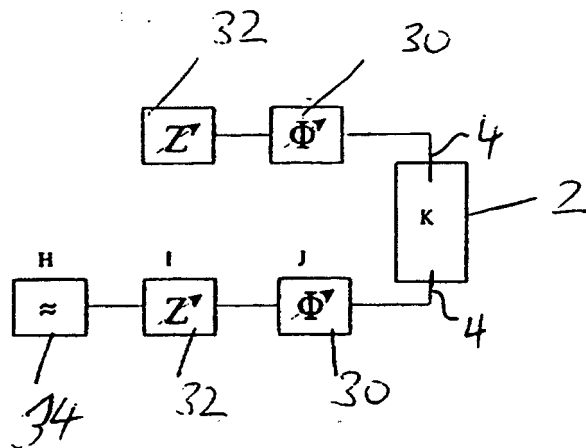


Fig. 2