



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) **CH** **720 593 A1**

**Patentanmeldung für die Schweiz und Liechtenstein**

Schweizerisch-lichtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(51) Int. Cl.: **B01J** 19/12 (2006.01)  
**H05H** 1/46 (2006.01)  
**C01B** 32/00 (2017.01)  
**C01B** 3/24 (2006.01)  
**C01B** 3/34 (2006.01)

(12) **PATENTANMELDUNG**

(21) Anmeldenummer: 000261/2023

(71) Anmelder:  
Microwave Solutions GmbH, Burgstrasse 15  
4125 Riehen (CH)

(22) Anmeldedatum: 08.03.2023

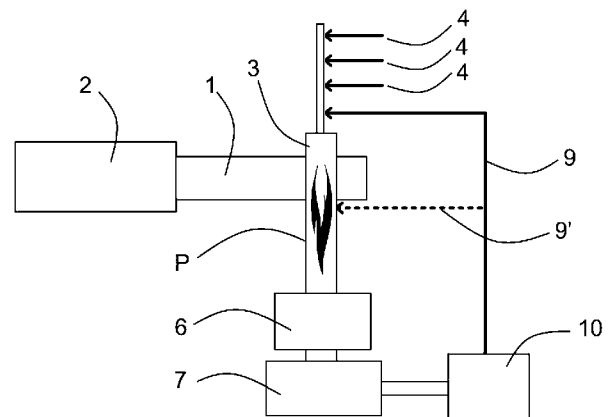
(72) Erfinder:  
Annelie Stapela, 4125 Riehen (CH)  
Mathys Johannes Rossouw, 1001 Rayton (ZA)

(43) Anmeldung veröffentlicht: 13.09.2024

(74) Vertreter:  
BRAUNPAT AG, Peter Merian-Strasse 28  
4052 Basel (CH)

(54) **DISSOZIATIONSVERFAHREN UND SYSTEM ZUR DISSOZIATION VON KOHLENDIOXID UND/ODER METHAN**

(57) Die Erfindung betrifft ein Dissoziationsverfahren und ein Dissoziationssystem zur Dissoziation von Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten unter Verwendung eines Mikrowellenplasmas. In einer Reaktorkammer (1) wird eine Mikrowellenplasmaumgebung in Form eines nicht-thermischen Plasmas bereitgestellt, das durch Ausüben von Mikrowellenpulsen auf das Plasma als gepulstes Mikrowellenplasma realisiert wird. Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten werden in die Reaktorkammer (1) eingeleitet. Das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma (P) ist so definiert, dass die Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten in Dissoziationsprodukte dissoziiert werden, die vorzugsweise ausgewählt sind aus der Gruppe von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen, Wasserstoff, festem Kohlenstoff, Synthesegas, Kraftstoffen und/oder Oxygenaten.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Dissoziationsverfahren und ein Dissoziationssystem zur Dissoziation von Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten unter Verwendung einer Mikrowellenplasmabehandlung.

**[0002]** Bemühungen, um Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) oder Methan (CH<sub>4</sub>) unter Verwendung verschiedener Verfahren, wie katalytischer Umwandlung, photokatalytischer oder photochemischer Prozesse, elektrokatalytischer oder elektrochemischer Prozesse, enzymatischer oder biomedizinischer Prozesse, zu dissoziieren, sind ausführlich untersucht worden. Es hat sich herausgestellt, dass Verfahren unter Verwendung einer Plasmabehandlung überaus wirksam sind.

**[0003]** Zum Beispiel wird in US 9987611 B1 eine nicht-thermische Plasmaumgebung verwendet, um ein Kohlenwasserstoffmaterial zu dissoziieren. Ein Gefäß wird in Kommunikation mit einer ersten Leitung, einer zweiten Leitung und einer Mikrowellenstrahlungsquelle bereitgestellt. Ein erster Strom eines Kohlenwasserstoffvorläufermaterials und ein zweiter Strom eines plasmabildenden Materials werden durch die erste Leitung bzw. die zweite Leitung in das Gefäß eingespritzt. Die Mikrowellenstrahlungsquelle setzt das Kohlenwasserstoffvorläufermaterial und das plasmabildende Material im Gefäß Mikrowellenstrahlung aus. Durch das Aussetzen wird das plasmabildende Material selektiv in nicht-thermisches Plasma umgewandelt. Das nicht-thermische Plasma bildet einen oder mehrere Streamer. Innerhalb des Gefäßes wird das Kohlenwasserstoffvorläufermaterial den Streamern ausgesetzt. Das Aussetzen des Kohlenwasserstoffvorläufermaterials sowohl gegenüber Mikrowellenstrahlung als auch den gebildeten Streamern wandelt das Kohlenwasserstoffvorläufermaterial selektiv in kohlenstoffangereicherte Materialien und wasserstoffangereicherte Materialien um.

**[0004]** In „Non-thermal plasma technology for the conversion of CO<sub>2</sub>“, Bryony-Ashford, Xin Tu, Department of Electrical Engineering and Electronics, Universität Liverpool, Liverpool L69 3GJ, UK, werden Verfahren zur Kohlendioxidumwandlung erörtert, die eine nicht-thermische Plasmaumgebung verwenden. Im Vergleich zu anderen Prozessen ist dies ein einfacher und schneller Prozess: Das Plasma hat das Potenzial, das Auftreten von thermodynamisch ungünstigen chemischen Reaktionen bei Umgebungsbedingungen zu ermöglichen. Nicht-thermisches Plasma kann bei Atmosphärendruck betrieben werden, während dennoch hochaktive Spezies und Elektronen erzeugt werden.

**[0005]** Die größte Herausforderung, die mit der Verwendung von nicht-thermischem Plasma für Kohlendioxid verbunden ist, besteht im Überwinden der hohen Stabilität des Kohlendioxidmoleküls, da eine hohe Energiezufuhr erforderlich ist, um die C=O-Doppelbindung zu brechen und das Molekül zu dissoziieren. Es besteht ein Kompromiss zwischen Energieeffizienz und Kohlendioxidumwandlung bei Verwendung von Plasmaprozessen, da die Umwandlung zunimmt, wenn die Energiezufuhr erhöht wird, was wiederum eine Abnahme der Energieeffizienz des Kohlendioxiddissoziationsverfahrens verursacht. Um diese Herausforderung anzugehen und den Umwandlungsprozess in der nicht-thermischen Plasmaumgebung zu erleichtern, wird vorgeschlagen, Katalysatoren hinzuzufügen.

**[0006]** Beispielsweise wird in WO 2010/033530 A3 Ammoniak (NH<sub>3</sub>) durch Einleiten von Stickstoff (N<sub>2</sub>), Kohlenmonoxid (CO) und Wasser (H<sub>2</sub>O) in ein nicht-thermisches Plasma in Gegenwart eines Katalysators produziert, wobei der Katalysator dafür wirksam ist, um die Dissoziation von N<sub>2</sub>, CO und Wasser zu fördern, um Reaktanten zu bilden, die wiederum reagieren, um Ammoniak und Methan zu bilden. Ein reaktives Wasserstoffion oder freies Radikal wird durch das Verfahren hergestellt, das das Leiten von Wasser durch ein nicht-thermisches Plasma in Gegenwart eines Katalysators umfasst, wobei der Katalysator dafür wirksam ist, um die Dissoziation von Wasser zu fördern.

**[0007]** Bei der Plasmakatalyse wird die Chemie jedoch aufgrund der Wechselwirkungen zwischen Plasma und Katalysator noch komplexer. Die Anzahl verschiedener Katalysatoren, die in Plasmaprozessen verwendet werden können, zusammen mit Variationen von Katalysatorherstellungsverfahren, Beladungsmenge, Vorbehandlung usw., erschweren den Einsatz einer „Universallösung“.

**[0008]** Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein Dissoziationsverfahren und ein Dissoziationssystem zur Dissoziation von Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten bereitzustellen, die kosten- und energieeffizient sind, einfach aufgebaut und einfach auszuführen sind und eine Ausbeute von Dissoziationsprodukten erhöhen.

**[0009]** Diese und andere Ziele, die aus der nachstehenden Beschreibung ersichtlich werden, lassen sich durch ein Dissoziationsverfahren und ein Dissoziationssystem wie in den beigefügten unabhängigen Ansprüchen dargelegt erreichen. Bevorzugte Ausführungsformen und Varianten sind in den abhängigen Ansprüchen definiert.

**[0010]** Ein Dissoziationsverfahren zum Dissoziieren von Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten unter Verwendung einer erfindungsgemäßen Mikrowellenplasmabehandlung umfasst die folgenden Schritte. In einer Reaktorkammer wird eine Mikrowellenplasmaumgebung durch Bestrahlen eines Plasmamaterials unter Verwendung von Mikrowellenstrahlung erreicht. Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten werden in die Reaktorkammer und in die Mikrowellenplasmaumgebung eingeleitet. Die Mikrowellenplasmaumgebung ist ein nicht-thermisches Plasma, das als gepulstes Mikrowellenplasma durch Ausüben von Mikrowellenimpulsen auf das Plasmamaterial realisiert wird. Das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma ist definiert, um die Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten in Dissoziationsprodukte zu dissoziieren. Vorteilhafterweise ist das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma so definiert, dass die Dissoziationsprodukte aus der Gruppe von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen, Wasserstoff, festem Kohlenstoff, Synthesegas, Kraftstoffen und/oder Oxygenaten ausgewählt sind.

**[0011]** Ein Dissoziationssystem zum Ausführen des Dissoziationsverfahrens umfasst mindestens eine Reaktorkammer zum Aufnehmen des nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasmas und mindestens einen Mikrowellengenerator und Plasmaapplikator zum Erzeugen des nicht-thermischen gepulsten Mikrowellenplasmas in der Reaktorkammer. Die Reaktorkammer umfasst mindestens einen Einlass zum Einspritzen der Kohlendioxid- und/oder Methan-Komponenten in die Reaktorkammer und zum Aussetzen der Komponenten dem nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasma, und mindestens einen Auslass zum Extrahieren von Dissoziationsprodukten aus der Reaktorkammer.

**[0012]** Beispielsweise kann Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) oder Methan (CH<sub>4</sub>) als ein Plasmamaterial verwendet werden. Das Material wird durch den Mikrowellengenerator und den Plasmaapplikator behandelt, um die Elektronen des Materials nur zu thermalisieren. Das resultierende Plasma ist nicht im thermodynamischen Gleichgewicht, da die Temperatur des Elektrons viel heißer ist als die Temperatur der schweren Teilchen des Materials, d. h. Ionen und Neutrale.

**[0013]** Die Eigenschaften des nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasmas sind so definiert, dass sie spezifische Anforderungen erfüllen, um spezifische Dissoziationsprodukte zu erzielen. Beispielsweise können die unterschiedlichen Dissoziationsprodukte in Form von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen, Wasserstoff, Synthesegas, Kraftstoffen und/oder Oxygenaten unterschiedliche Energien für eine Dissoziation erfordern. Außerdem sind einige Plasmamaterialien für einige Dissoziationsprodukte besser geeignet als für andere. Zum Beispiel dissoziiert Kohlendioxid bei 1800 °C bis 2200 °C zu Kohlenmonoxid und Sauerstoff. Bei höheren Temperaturen bildet Kohlendioxid Kohlenstoffnanomaterialien und Sauerstoff. Bei Temperaturen unter 1500 °C bildet Methan kurzkettige Kohlenwasserstoffe (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> usw.) und Wasserstoff. Bei höheren Temperaturen wird die Selektivität von kurzkettigen Kohlenwasserstoffen abnehmen und die Selektivität von Wasserstoff und kohlenstoffbasierten Materialien wird zunehmen. Wenn Kohlendioxid und Methan zusammen verwendet werden, wird als Produkt Wasser (H<sub>2</sub>O) zusammen mit kurzkettigen Kohlenwasserstoffen und Kohlenstoffmaterialien gebildet. Wie bereits erwähnt, führt die Zugabe von Stickstoff (N<sub>2</sub>) und Wasser zu Kohlenmonoxid (und damit Kohlendioxid, da Kohlendioxid zu Kohlenmonoxid dissoziiert) und zur Erzeugung von Ammoniak (NH<sub>3</sub>). Vorzugsweise wird eine Mikrowellenfrequenz und/oder Mikrowellenimpulsbreite gemäß Dissoziationsparametern der ausgewählten Dissoziationsprodukte (Beispiele benötigt) ausgewählt. Zum Beispiel kann für Kohlendioxid eine Reaktionszeit von 50 bis 250 Millisekunden verwendet werden. Die Mikrowellenfrequenz und Mikrowellenimpulse definieren die Eigenschaften des nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasmas für ein spezifisches Dissoziationsprodukt. Zum Beispiel sind die Mikrowellenfrequenz und der Mikrowellenimpuls für Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe, Wasserstoff, Synthesegas, Kraftstoffe und Oxygenate unterschiedlich. Impulslängen von 250 ms ermöglichen den Abschluss der Dissoziation von CO<sub>2</sub>. Die Kombination aus selektiver Mikrowellenfrequenz und geeigneten Pulsbreiten ermöglicht eine effiziente Umwandlung und hohe Produktausbeute für unterschiedliche Reagenzienmischungen.

**[0014]** Vorteilhafterweise stimuliert das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma Schwingungsanregungsmodi in den Kohlendioxid- (CO<sub>2</sub>) und/oder Methan- (CH<sub>4</sub>) Komponenten. Für die molekulare Dissoziation von Kohlendioxid oder Methan führt eine Schwingungsanregung zu einem effizienteren Prozess als schwingungsfreie Modi. Der Prozess ist schneller und erfordert weniger Energie. Das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma ist in der Lage, die Schwingungsmodi effektiv zu stimulieren, und ist ideal zum Umwandeln von CO<sub>2</sub> oder CH<sub>4</sub> und weist einige der gewünschten Eigenschaften von hoher Elektronenzahldichte und thermischem Nichtgleichgewicht zwischen Elektronentemperatur und schwerer Partikelgastemperatur auf.

**[0015]** In einer Variante des Dissoziationsverfahrens wird das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma durch eine Mikrowellenstrahlung bei Frequenzen zwischen 300 MHz und 40000 MHz erzeugt. Zum Beispiel werden niedrigere Frequenzen innerhalb dieses Bereichs für Kohlendioxid empfohlen. Höhere Frequenzen innerhalb dieses Bereichs werden für Methan empfohlen.

**[0016]** In einer weiteren Variante des erfindungsgemäßen Dissoziationsverfahrens wird in der Reaktorkammer eine kontrollierte Atmosphäre realisiert, die einen Druck in der Reaktorkammer variiert, um eine Plasmatemperatur abhängig vom ausgewählten Dissoziationsprodukt zu modifizieren. Zum Beispiel bildet, wie vorstehend erwähnt, Kohlendioxid bei Temperaturen höher als 2200 °C Kohlenstoffnanomaterialien und Sauerstoff. Weiterhin kann die kontrollierte Atmosphäre als Vakuumatmosphäre definiert werden, die einen Unterdruck in der Reaktorkammer erzeugt. Das Definieren der kontrollierten Atmosphäre nach Bedarf für spezifische Eingangskomponenten und/oder spezifische Dissoziationsprodukte unterstützt auch die Definition der Bedingungen für nicht-thermisches, gepulstes Mikrowellenplasma zur Dissoziation der Kohlendioxid- und/oder Methan-Komponenten.

**[0017]** In noch einer weiteren Variante des erfindungsgemäßen Dissoziationsverfahrens kann die kontrollierte Atmosphäre als eine reaktive Atmosphäre in der Reaktorkammer realisiert werden, um die bei der Dissoziation gebildeten Produkte zu modifizieren.

**[0018]** Die reaktive Atmosphäre kann durch reaktive Gase, wie Wasserstoff, Dampf, Kohlenmonoxid, Methan, Benzol oder eine Mischung von reaktiven Gasen, wie sie in Synthesegas enthalten sind, erzeugt werden. Vorzugsweise wird das während des Prozesses gebildete Synthesegas, teilweise durch den Reaktor zurückgeführt, um alternative Reaktionen zu fördern oder die Ausbeute an flüssigen oder gasförmigen Zielprodukten zu erhöhen. Die reaktive Atmosphäre kann gemäß den Eingangsprodukten und/oder Ausgangsprodukten bestimmt werden. Daher kann sie variieren, je nachdem, welche Art von Dissoziationsprodukt durch das Dissoziationsverfahren hergestellt werden soll.

**[0019]** In einer anderen Variante des erfindungsgemäßen Dissoziationsverfahrens werden flüchtige Komponenten, die nach dem Hindurchleiten der Eingangskomponenten durch die Plasmaumgebung vorhanden sind, aus der Reaktorkammer extrahiert und einer fraktionierten Kondensation für die aufeinanderfolgende Extraktion von Dissoziationsprodukten unter Verwendung einer fraktionierten Kondensationseinheit des Dissoziationsystems unterzogen. Zum Beispiel bilden die flüchtigen Komponenten eine Dampfmenge, die in Schritten abgekühlt wird, was eine aufeinanderfolgende Kondensation unterschiedlicher Dissoziationsprodukte bewirkt.

**[0020]** Der fraktionierte Kondensationsprozess umfasst die Schritte einer schnellen Extraktion von flüchtigen Stoffen, um die Verweilzeit der flüchtigen Stoffe in der Reaktorkammer zu verringern. Als Nächstes werden die flüchtigen Gase in verschiedene fraktionierte Komponenten kondensiert. Wahlweise werden die fraktionierten Komponenten einer weiteren fraktionierten Kondensation unterzogen, um mindestens eine wertvollere Chemikalie zu isolieren.

**[0021]** In einer vorteilhaften Variante des erfindungsgemäßen Dissoziationsverfahrens wird eine niedrige Mikrowellenenergie kontinuierlich auf das Mikrowellenplasma zwischen hohen Mikrowellenenergieimpulsen ausgeübt. Die niedrige Mikrowellenenergie liegt beispielsweise im Bereich von 300 MHz bis 40 GHz. Während das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma in Energieimpulsen oszilliert, hält das Anlegen einer niedrigen Mikrowellenenergie ein Plasma mit kontinuierlichen Eigenschaften aufrecht. Die Verwendung einer kontinuierlichen Zufuhr von niedrigen Mikrowellen zur Aufrechterhaltung des Plasmas während der Intervalle zwischen den Mikrowellenimpulsen hoher Energie hilft beim Definieren einer kontrollierten Atmosphäre für das Dissoziationsverfahren. Die Zufuhr von Mikrowellen niedriger Energie kann von dem Mikrowellengenerator bereitgestellt werden, der die Mikrowellenimpulse erzeugt. Das heißt, der Mikrowellengenerator erzeugt eine konstante Ausgabe von Mikrowellen niedriger Energie mit den darauf überlagerten Impulsen. Alternativ kann ein zweiter Mikrowellengenerator bereitgestellt werden, der konstant bei derselben Mikrowellenfrequenz arbeitet, oder durchaus bei einer anderen Frequenz als der gepulsten Mikrowellenquelle.

**[0022]** In einer weiteren Variante des erfindungsgemäßen Dissoziationsverfahrens wird Kohlendioxid im nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasma durch Trockenreformierung mit Methan dissoziiert. Die Trockenreformierung erzeugt Synthesegas, eine Mischung aus Wasserstoff und Kohlenmonoxid, aus der Reaktion von Kohlendioxid mit Methan mit Hilfe von Edelmetallkatalysatoren wie Ni oder Ni-Legierungen). Die Trockenreformierung von Methan unter Verwendung von CO<sub>2</sub> hat den Vorteil, zwei Treibhausgase in einem einzigen Prozess zu verwenden.

**[0023]** Vorteilhafterweise ist das Dissoziationssystem so ausgelegt, dass Gaskomponenten, die nicht in dem nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasma dissoziiert sind, durch das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma für eine weitere Behandlung rückgeführt werden können. Auch durch das Dissoziationsverfahren hergestellte Dissoziationsprodukte können zum Beispiel in den Prozess zurückgeführt werden, um eine reaktive Atmosphäre zu erzeugen, um das Dissoziationsverfahren zu erleichtern.

**[0024]** Das erfindungsgemäße Dissoziationssystem kann eine Steuereinheit zum Erzeugen des nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasmas in der Reaktorkammer umfassen, die eine Mikrowellenfrequenz und/oder Mikrowellenimpulsbreite umfasst, die gemäß Dissoziationsparametern der ausgewählten Dissoziationsprodukte modifiziert ist. Die Steuereinheit umfasst eine Mikrowellenstrahlungssteuerung zum Erzeugen eines gepulsten Mikrowellenplasmas in der Reaktorkammer, die Impulse von Mikrowellenenergie umfasst. Das gepulste Mikrowellenplasma stimuliert dann Schwingungsanregungsmodi in den Eingangsprodukten. Die Mikrowellenstrahlung steuert die Anwendung von Mikrowellenstrahlung bei Frequenzen zwischen 300 MHz und 40000 MHz. Ferner kann die Steuereinheit eine Atmosphärensteuereinheit umfassen, um die Atmosphäre in der Reaktorkammer zu steuern. Zum Beispiel steuert die Atmosphäre-Steuereinheit die Anwendung eines Drucks in der Kammer oder die Zugabe eines reaktiven Gases, um eine reaktive Atmosphäre in der Kammer zu definieren. Außerdem kann die Steuereinheit eine Temperatur in der Reaktorkammer überwachen und die Temperatur anpassen, falls dies für das Dissoziationsverfahren eines Eingangsprodukts benötigt wird, oder um ein ausgewähltes Ausgangsprodukt zu erzielen.

**[0025]** In einer vorteilhaften Ausführungsform des erfindungsgemäßen Dissoziationssystems ist das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma in einem Plasmarohr untergebracht, das sich durch mindestens eine Reaktorkammer hindurch erstreckt. Vorzugsweise erstreckt sich das Plasmarohr anschließend durch eine erste Reaktorkammer und eine zweite Reaktorkammer. Die Eingangsprodukte sind dem nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasma im Plasmarohr ausgesetzt. Dissoziierte Produkte wandern durch das Plasmarohr und werden durch die Auslässe im Plasmarohr oder in der Reaktionskammer extrahiert.

**[0026]** In einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen Dissoziationssystems ist eine Pumpe mit der Reaktorkammer oder dem Plasmarohr, die das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma aufnimmt, zum Regulieren eines Drucks in der Reaktorkammer oder dem Plasmarohr verbunden. Die Pumpe kann durch die Steuereinheit gesteuert werden, um einen Druck in der Kammer zu erzeugen. Ferner kann die Pumpe die Dissoziationsprodukte in eine mit dem Auslass verbundene Gasspeichereinrichtung abgeben.

**[0027]** Vorteilhafterweise enthält das Dissoziationssystem Mikrowellenplasmageneratoren mit Festkörperformung, was es ermöglicht, die Amplitude und Form der Mikrowellenpulse genau zu steuern, was wiederum eine spezifische Steuerung der Plasmatemperatur ermöglicht. Aktive Impedanzanpassschaltungen können eine zuverlässige Plasmazündung und eine effiziente Leistungsübertragung während des Betriebs gewährleisten. Die aktive Impedanzanpassschaltung kann

zwischen dem Mikrowellenplasmagenerator und der Plasmakammer angebracht werden. Sie passt sich kontinuierlich an, um die von dem Plasma dargestellte Lastimpedanz auf die Mikrowellenübertragungsleitung abzustimmen, wodurch die maximale Leistungsübertragung auf das Plasma unter allen Plasmabedingungen sichergestellt wird.

**[0028]** Zusammenfassend betrifft die vorliegende Erfindung ein gepulstes nicht-thermisches, Nichtgleichgewichts-Mikrowellenplasmasystem für die Dissoziation und/oder Nutzung von Kohlendioxid und/oder Methan.

**[0029]** Das Verfahren wird vorzugsweise unter Vakuum oder kontrollierter Gasatmosphäre durchgeführt und schließt einen fraktionierten Kondensationsprozess und ein System als Teil davon ein. Die verwendete Mikrowellenstrahlung liegt im Bereich von 300 MHz bis etwa 40 GHz. Das gepulste nicht-thermische, Nichtgleichgewichts-Mikrowellenplasmasystem kann mit oder ohne Katalysator verwendet werden, wobei sich der Katalysator im Plasma befinden oder Teil des Nachplasmaprozesses sein kann.

**[0030]** Das Dissoziationsverfahren basiert auf Kohlendioxiddissoziation:  $2\text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO} + \text{O}_2$  und Methandissoziation:

$\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + \text{H}_4$ . Das Dissoziationsverfahren eignet sich für die Trockenreformierung von Kohlendioxid mit Methan:



**[0031]** Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden in den beigefügten Zeichnungen beschrieben, die die Grundsätze der Erfindung erläutern können, aber den Umfang der Erfindung nicht einschränken sollen. Die Zeichnungen veranschaulichen:

Fig. 1 ein schematisches Diagramm eines ersten erfindungsgemäßen Dissoziationssystems, und

Fig. 2 ein schematisches Diagramm eines zweiten erfindungsgemäßen Dissoziationssystems.

**[0032]** Im Folgenden werden zwei beispielhafte Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Dissoziationssystems beschrieben, die dafür geeignet sind, ein Dissoziationsverfahren zur Dissoziation von Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten unter Verwendung einer erfindungsgemäßen Mikrowellenplasmabehandlung durchzuführen. Merkmale, die für eine der Ausführungsformen offenbart sind, können auch für die andere Ausführungsform angewendet werden, ohne dass die Notwendigkeit einer Weiterentwicklung besteht was für einen Fachmann ersichtlich sein wird. Eine sich wiederholende Beschreibung solcher Merkmale wird daher der Übersichtlichkeit halber vermieden.

**[0033]** Figur 1 veranschaulicht eine erste Ausführungsform eines Dissoziationssystems zum Ausführen des Dissoziationsverfahrens zum erfindungsgemäßen Dissoziieren von Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten.

**[0034]** Das Dissoziationssystem umfasst eine Reaktionskammer 1 zur Aufnahme einer Mikrowellenplasmaumgebung, einen Mikrowellengenerator 2 und einen Plasmaapplikator in Form eines Plasmarohrs 3 zum Erzeugen eines nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasmas P in der Reaktionskammer 1. An einem Einlassende des Plasmarohrs 3 sind drei Einlässe 4 zum Einspritzen von Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten und anderen Gasreagenzien in die Reaktionskammer 1 bereitgestellt. Das Einlassende des Plasmarohrs befindet sich vor dem Schnittpunkt des Plasmarohrs mit der Reaktionskammer 1, wobei die Einlassprodukte mit dem nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasma interagieren. Ein Auslassende des Plasmarohrs 3, in Strömungsrichtung hinter der Reaktionskammer 1 befindlich, umfasst einen Auslass 5 zum Extrahieren von Dissoziationsprodukten aus der Reaktionskammer. Der Auslass 5 ist als Auslassrohrleitung ausgebildet, wobei in der Rohrleitung eine Kühleinheit 6 und eine Pumpeneinheit 7 angeordnet sind. Der Auslass 5 endet in einer Speichereinheit 8 zum Speichern von Dissoziationsprodukten, die durch das Dissoziationsverfahren erzeugt werden. Ein Verbindungsrohr 9 verbindet die Speichereinheit 8 mit dem Einlassende des Plasmarohrs 3. Dissoziationsprodukte oder Einlassprodukte, die nicht dissoziieren, können durch das Verbindungsrohr 9 zurück in das Plasmarohr 3 in das Dissoziationsverfahren zurückgeführt werden. Ein alternatives Verbindungsrohr 9' verbindet die Speichereinheit 8 mit dem Plasmarohr, so dass Dissoziationsprodukte direkt in das Plasmarohr 3 und die Reaktionskammer 1 eingeleitet werden können. Vorteilhafterweise verläuft das Plasmarohr 3 in einem Ort, an dem das Mikrowellenfeld konzentriert ist, durch die Reaktionskammer 1.

**[0035]** Der Mikrowellengenerator 2 spritzt gepulste Mikrowellenfelder in die Plasmareaktionskammer 1 ein und ionisiert ein Plasmamaterial in dem Plasmarohr 3. Die Einlassgase Kohlendioxid und Methan und andere Gase werden gemischt und als Reaktionsgase in den korrekten Verhältnissen in den Plasmareaktor eingespritzt. Die Gibbs-Energie von  $\text{CO}_2$  begünstigt die Produktion von  $\text{CO}$  und  $\text{O}_2$ / $\text{O}_2$ , während  $\text{CH}_4$  in feste Kohlenstoffstrukturen dissoziiert, wie Ruß und/oder Kohlenstoffnanomaterialien; kohlenstoffbasierte Materialien; kurzkettige Kohlenwasserstoffe ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ,  $\text{C}_2\text{H}_2$ ,  $\text{C}_3\text{H}_8$ ,  $\text{C}_3\text{H}_6$  usw.) und  $\text{H}_2$ , wenn sie bei milden Temperaturen getrennt dissoziiert werden. Wenn Kohlendioxid und Methan gleichzeitig dem Plasma ausgesetzt werden, dann wird Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) als ein Produkt zusammen mit festen Kohlenstoffstrukturen, wie Ruß und/oder Kohlenstoffnanomaterialien sowie kurzkettigen Kohlenwasserstoffen, gebildet.

**[0036]** Diese kohlenstoffbasierten Materialien können sauerstoffhaltige kurzkettige Kohlenwasserstoffe einschließen, wie Formaldehyd ( $\text{CH}_2\text{O}$ ), Acetaldehyd und Ethylenoxid ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ ), Methanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) usw. Dies ist auf das Sauerstoffradikal ( $\text{O}_2^{\cdot}$ ) aus der Kohlendioxiddissoziation zurückzuführen, das mit einem ungesättigten Kohlenwasserstoff aus Methan rea-

giert. Wenn Kohlendioxid das einschränkende Reagenz ist, werden daher weniger sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe und Wasser erwartet. Die folgende Beziehung kann erwartet werden:

$\text{CH}_4 < 20 \text{ Mol-\%}$  ~ feste Kohlenstoffmaterialien; hauptsächlich sauerstoffhaltige Kohlenwasserstoffe und Wasser; geringe Mengen an CO; kurzkettige Kohlenwasserstoffe und Wasserstoff.

$\text{CH}_4 > 60 \text{ Mol-\%}$  ~ feste Kohlenstoffmaterialien; hauptsächlich kurzkettige Kohlenwasserstoffe und Wasserstoff mit geringen Mengen an Wasser und CO.

**[0037]** Zusätzlich zu den Reaktionsgasen zur Herstellung von Dissoziationsprodukten kann auch ein reaktives Medium, z. B. Wasserstoff oder ein inertes Trägergas wie Argon, durch die Einlässe 4 in den Plasmareaktor eingespritzt werden. Solche reaktiven Medien können verwendet werden, um eine kontrollierte Atmosphäre und/oder eine reaktive Atmosphäre in der Reaktorkammer 1 zu erzeugen und zu definieren. Die Kühleinheit 6 temperiert die Dissoziationsproduktgase. Die Pumpeneinheit 7 regelt den Druck in dem Plasmarohr 3 und liefert die Dissoziationsproduktgase in die Gasspeichereinheit 8. Die Pumpeneinheit 7 kann den Druck in dem Plasmarohr 3 auf unteratmosphärischen Niveaus regulieren, um ein Niedertemperaturplasma zu erzeugen, oder auf höheren Drücken, um höhere Plasmatemperaturen zu ermöglichen.

**[0038]** Die Gasspeichereinheit 8 kann einen Membranfilter oder eine andere Filtervorrichtung einschließen, um unterschiedliche Gasspezies der Dissoziationsprodukte zu trennen. Nicht umgesetztes Gas kann dann durch das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma P über die Verbindungsrohre 9 oder 9' zurückgeführt werden, um die Ausbeute des Dissoziationsverfahrens zu erhöhen. Die endgültigen Dissoziationsprodukte können zur weiteren Verwendung oder Verarbeitung aus der Speichereinheit 8 extrahiert werden.

**[0039]** In einer Variation dieses Beispiels kann der Mikrowellengenerator 2 dafür konfiguriert sein, um Mikrowellenimpulse zu erzeugen, die einer kleineren kontinuierlichen Mikrowellenwellenform überlagert sind. Der Zweck der kontinuierlichen Wellenform besteht darin, das Aufrechterhalten des nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasmas P zwischen Impulsen zu unterstützen.

**[0040]** In einer anderen Variation des veranschaulichten Dissoziationssystems können alle oder einige der Einlassreaktionsgase in das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma P in etwas Abstand entlang der Länge des Plasmas bzw. des Plasmarohrs 3 eingespritzt werden. Das Einleiten der Einlassprodukte entlang der Länge des Plasmas modifiziert die Belichtungszeit der Gase in das Plasma. Zu diesem Zweck kann das Plasmarohr 3 mehrere Einlassöffnungen (nicht gezeigt) aufweisen, die entlang des Plasmarohrs 3 in Strömungsrichtung unterschiedlich weit voneinander beabstandet sind. Abhängig von der erforderlichen Expositionszeit eines Einlassgases zu dem definierten nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasma, das in der Reaktorkammer 1 vorhanden ist, kann ein spezifischer Einlassanschluss gewählt werden, der mit einer gewünschten Belichtungszeit übereinstimmt, wenn das Einlassgas in den Produktionsfluss eintritt. Ferner können diese Einlassöffnungen dazu verwendet werden, um ein Abschreckgas einzuleiten, um die Dissoziationsprodukte und andere Gase, die aus der Reaktorkammer 1 austreten, schnell zu kühlen.

**[0041]** Figur 2 veranschaulicht eine zweite Ausführungsform eines Dissoziationssystems zum Ausführen des Dissoziationsverfahrens für das erfindungsgemäße Dissoziieren von Kohlendioxid- und/oder Methananteilen. Im Gegensatz zur ersten Ausführungsform umfasst das Dissoziationssystem die erste Reaktorkammer 1 und den ersten Mikrowellengenerator 2 und zusätzlich eine zweite Reaktorkammer 1' und einen zweiten Mikrowellengenerator 2'. Das Plasmarohr 3 erstreckt sich in Strömungsrichtung der Einlassgase durch die erste Reaktorkammer 1 und dann durch die zweite Reaktorkammer 1'. Die Dissoziationsprodukte und Reaktionsgase verlassen das Plasmarohr 3 durch ein Auslassende des Plasmarohrs, wie für die in Figur 1 gezeigte erste Ausführungsform beschrieben. Zwischen dem Mikrowellengenerator 2 und 2' und der jeweiligen Reaktorkammer 1 und 1' sind ein erster und ein zweiter Wellenleiterfilter 10 und 10' bereitgestellt.

**[0042]** Wie erwähnt, enthält die zweite Ausführungsform alle Merkmale der ersten Ausführungsform, führt aber den zweiten Mikrowellengenerator 2' als eine zweite Mikrowellenleistung für das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma P ein. Der erste Mikrowellengenerator 2 dient als kontinuierliche Mikrowellenquelle, die mit der Reaktorkammer 1 und dem Plasmarohr 3 verbunden ist, wobei die Einlassgase ionisiert werden. Der zweite Mikrowellengenerator 2' ist auf ähnliche Weise mit der zweiten Reaktorkammer 1' verbunden, wobei der Plasmarohr 3 beide Plasmareaktoren durchläuft. Der zweite Mikrowellengenerator 2' dient als gepulste Mikrowellenquelle, um das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma P in dem Plasmarohr 3 zu erzeugen.

**[0043]** Die Mikrowellenwellenleiter-Filter 10 und 10' werden zwischen den zweiten Mikrowellengeneratoren und den Reaktorkammern verwendet, um zu verhindern, dass Energie aus dem ersten Mikrowellengenerator 2 den Mikrowellengenerator 2' erreicht und seinen Betrieb negativ beeinflusst, und umgekehrt.

**[0044]** In einer Variation der zweiten Ausführungsform können die zwei Mikrowellengeneratoren an derselben Reaktorkammer angebracht sein, ihre Mikrowellenausgänge überlagern und die Leistungsdichte in dem nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasma erhöhen.

**[0045]** Das erfindungsgemäße Dissoziationsverfahren kann einen katalytischen Prozess einschließen, wobei die Kohlendioxid- und/oder Methananteile und/oder Zwischenprodukte einem katalytischen Prozess im nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasma und/oder als Teil eines Nachplasmaprozesses unterzogen werden. Der katalytische Pro-

zess kann eine katalytische Umwandlung, eine photokatalytische oder photochemische Prozesse, elektrokatalytische oder elektrochemische Prozesse, enzymatische oder biomedizinische Prozesse, wie aus dem Stand der Technik bekannt, sein.

[0046] Kohlendioxid, Methan und andere Treibhausgase sind ein negatives Nebenprodukt aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und tragen zur globalen Erwärmung bei. Das Dissoziationsverfahren der vorliegenden Erfindung spielt eine wichtige Rolle bei den Klimawandel abmildernden Strategien. Das Dissoziationsverfahren ist energieeffizient aufgrund des geringen Energieverbrauchs zum Erzeugen des nicht-thermischen gepulsten Mikrowellenplasmas, das die Eingangsprodukte bei einer niedrigeren Temperatur eines Plasmas im Gleichgewicht verarbeitet. Ferner ermöglicht das Verfahren einen erhöhten Durchsatz von Treibhausgasen.

#### Liste der Bezugszahlen

##### [0047]

1, 1'	Reaktorkammer
2, 2'	Mikrowellengenerator
3	Plasmarohr
4	Einlass
5	Auslass
6	Kühleinheit
7	Pumpeneinheit
8	Speichereinheit
9, 9'	Verbindungsrohr
10, 10'	Wellenleiterfilter

#### Patentansprüche

- Dissoziationsverfahren zur Dissoziation von Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten unter Verwendung einer Mikrowellenplasmabehandlung, umfassend die folgenden Schritte:
  - Bereitstellen einer Mikrowellenplasmaumgebung in einer Reaktorkammer (1), und
  - Einleiten von Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten in die Reaktorkammer (1), wobei die Mikrowellenplasmaumgebung ein nichtthermisches Plasma ist, das als gepulstes Mikrowellenplasma durch Ausüben von Mikrowellenimpulsen auf das Plasma realisiert wird, und wobei das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma (P) definiert ist, um die Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten in Dissoziationsprodukte zu dissoziieren, vorzugsweise ausgewählt aus der Gruppe von Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffen, Wasserstoff, festem Kohlenstoff, Synthesegas, Kraftstoffen und/oder Oxygenaten.
- Dissoziationsverfahren nach Anspruch 1, wobei das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma (P) Schwingungsanregungsmodi in den Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten stimuliert.
- Dissoziationsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma (P) durch eine Mikrowellenstrahlung bei Frequenzen zwischen 300 MHz und 40000 MHz erzeugt wird.
- Dissoziationsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine kontrollierte Atmosphäre in der Reaktorkammer (1) einen Druck in der Reaktorkammer (1) variiert, um eine Plasmatemperatur in Abhängigkeit von dem ausgewählten Dissoziationsprodukt zu modifizieren.
- Dissoziationsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine Mikrowellenenergie kontinuierlich auf das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma (P) ausgeübt wird, wobei die kontinuierliche Mikrowellenenergie niedriger als die Energie der Mikrowellenimpulse ist.
- Dissoziationsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei Kohlendioxid in dem nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasma (P) durch Trockenreformieren mit Methan dissoziiert wird.
- Dissoziationsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei flüchtige Komponenten, die aus der Reaktorkammer (1) extrahiert werden, einer fraktionierten Kondensation für eine aufeinanderfolgende Extraktion von Dissoziationsprodukten unterzogen werden.
- Dissoziationsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine Mikrowellenfrequenz und/oder Mikrowellenimpulsbreite gemäß Dissoziationsparametern der ausgewählten Dissoziationsprodukte ausgewählt wird.
- Dissoziationsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Kohlendioxid- und/oder Methankomponente und/oder Zwischenprodukte einem katalytischen Prozess in dem nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasma (P) und/oder als Teil eines Nachplasmaprozesses unterzogen werden.
- Dissoziationsverfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei Gaskomponenten, die nicht in dem nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasma dissoziiert werden, durch das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma (P) zurückgeführt werden.

## CH 720 593 A1

11. Dissoziationssystem zum Dissoziieren von Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten unter Verwendung eines Dissoziationsverfahrens, das eine Mikrowellenplasmabehandlung nach einem der Ansprüche 1 bis 10 einschließt, umfassend
  - mindestens eine Reaktorkammer (1, 1') zum Aufnehmen des nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasmas (P),
  - mindestens einen Mikrowellengenerator (2, 2') und Plasmaapplikator zum Erzeugen des nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasmas (P) in der mindestens einen Reaktorkammer (1, 1'),
  - mindestens einen Einlass (4) zum Einspritzen der Kohlendioxid- und/oder Methankomponenten in die mindestens eine Reaktorkammer (1, 1') und Aussetzen der Komponenten dem nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasma (P), und
  - mindestens einen Auslass (5) zum Extrahieren von Dissoziationsprodukten aus der Reaktorkammer (1, 1').
12. Dissoziationssystem nach Anspruch 11, umfassend eine Steuereinheit, die eine Steuereinheit zum Erzeugen des nicht-thermischen, gepulsten Mikrowellenplasmas (P) in der mindestens einen Reaktorkammer (1, 1') umfasst, die eine Mikrowellenfrequenz und/oder Mikrowellenimpulsbreite umfasst, die gemäß Dissoziationsparametern der ausgewählten Dissoziationsprodukte modifiziert ist.
13. Dissoziationssystem nach Anspruch 11 oder 12, wobei das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma (P) in einem Plasmarohr (3) untergebracht ist, das sich durch mindestens eine Reaktorkammer erstreckt, wobei vorzugsweise das Plasmarohr (3) anschließend durch eine erste Reaktorkammer (1) und eine zweite Reaktorkammer (1') verläuft.
14. Dissoziationssystem nach einem der Ansprüche 11 bis 13, wobei eine Pumpeneinheit 7 mit der mindestens einen Reaktorkammer (1, 1') oder dem Plasmarohr (3), welches das nicht-thermische, gepulste Mikrowellenplasma (P) aufnimmt, zum Regulieren eines Drucks in der mindestens einen Reaktorkammer (1, 1') oder dem Plasmarohr (3) verbunden ist.
15. Dissoziationssystem nach einem der Ansprüche 11 bis 14, wobei die mindestens eine Reaktorkammer (1, 1') eine aktive Impedanzanpassschaltung für die Plasmazündung in der mindestens einen Reaktorkammer (1, 1') umfasst.

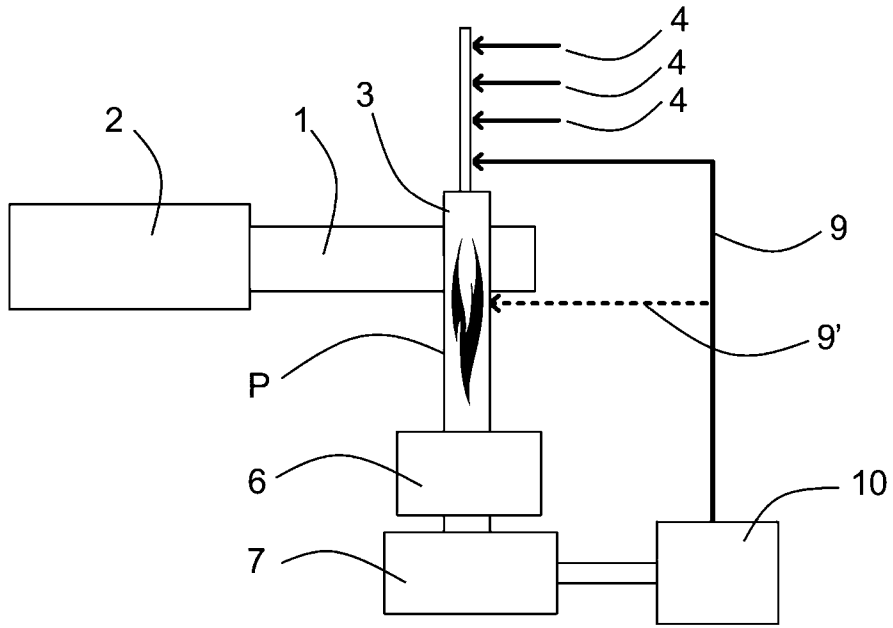


Fig. 1

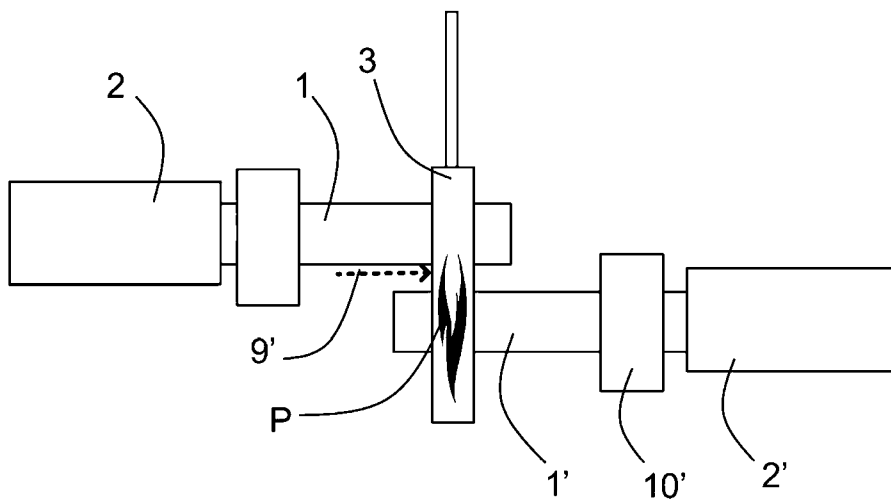


Fig. 2

## PATENT COOPERATION TREATY

## INTERNATIONAL-TYPE SEARCH REPORT

IDENTIFICATION OF THE NATIONAL APPLICATION		APPLICANT'S OR AGENT'S FILE REFERENCE	
		P27373CH00	
National Application N°		Filing date	
2612023		08-03-2023	
Country of filing		Priority Date Claimed	
CH			
Applicant (Name)			
Microwave Solutions GmbH			
Date of request for an International-Type search		Number given by the International Searching Authority to the request for an International-Type Search	
10-07-2023		SN84223	
I. CLASSIFICATION OF THE SUBJECT MATTER (if several classification symbols apply, indicate all)			
According to International Patent Classification (IPC), or to both National Classification and IPC			
See search report			
II. FIELDS SEARCHED			
Minimum Documentation Searched			
Classification system		Classification symbols	
IPC		See search report	
Documentation searched other than the minimum documentation to the extent, that such documents are included in the fields searched			
III.	CERTAIN CLAIMS WERE UNSEARCHABLE		(Observations on supplemental sheet)
IV.	UNITY OF INVENTION IS LACKING		(Observations on supplemental sheet)

Form PCT/ISA 201 A (11/2000)

INTERNATIONAL TYPE SEARCH REPORT

Search request No

CH 2612023

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
 INV. B01J19/08 B01J19/12  
 ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**  
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
**B01J**

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)  
**EPO-Internal, WPI Data**

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2021/057191 A1 (STOWELL MICHAEL W [US] ET AL) 25 February 2021 (2021-02-25) * paragraphs [0084], [0088], [0091], [0114], [0138], [0148], [0157]; claims; figures *	1-15
Y	WO 2015/128673 A2 (C TECH INNOVATION LTD [GB]) 3 September 2015 (2015-09-03) * page 2, line 14 - page 3, line 6; claims; figures * * page 7, lines 17-18 *	1-15
Y	US 9 987 611 B1 (STROHM JAMES J [US] ET AL) 5 June 2018 (2018-06-05) * column 5, lines 10-60; claims; figures * ----- -/-	1-15

Further documents are listed in the continuation of box C.  Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E" earlier document but published on or after the filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international-type search: **15 September 2023**

Date of mailing of the international-type search report

Name and mailing address of the ISA: European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2, NL - 2280 HV Rijswijk, Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer: **Serra, Renato**

1

INTERNATIONAL TYPE SEARCH REPORT

Search request No.

CH 2612023

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 2018/138017 A1 (STOWELL MICHAEL W [US]) 17 May 2018 (2018-05-17) * paragraphs [0002], [0034], [0035], [0036], [0044]; claims; figures * -----	1-15
A	WO 2012/095213 A1 (SIEMENS AG [DE]; HAMMER THOMAS [DE]) 19 July 2012 (2012-07-19) * page 1, line 31 - page 2, line 7; claims; figures * -----	1-15

1

INTERNATIONAL TYPE SEARCH REPORT

Information on patent family members

Search request No.

CH 2612023

US 2021057191	A1	25-02-2021	NONE		
-----					
WO 2015128673	A2	03-09-2015	GB	2531233 A	20-04-2016
			WO	2015128673 A2	03-09-2015
-----					
US 9987611	B1	05-06-2018	NONE		
-----					
US 2018138017	A1	17-05-2018	CN	110036457 A	19-07-2019
			CN	114700008 A	05-07-2022
			EP	3542391 A1	25-09-2019
			EP	3886140 A1	29-09-2021
			EP	4249562 A2	27-09-2023
			JP	6967591 B2	17-11-2021
			JP	2019537826 A	26-12-2019
			KR	20190089000 A	29-07-2019
			TW	201820938 A	01-06-2018
			US	9812295 B1	07-11-2017
			US	2018138017 A1	17-05-2018
			WO	2018093537 A1	24-05-2018
-----					
WO 2012095213	A1	19-07-2012	DE	102011002617 A1	19-07-2012
			EP	2640661 A1	25-09-2013
			KR	20130112940 A	14-10-2013
			WO	2012095213 A1	19-07-2012
-----					