

⑩ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑪ DE 3241026 C2

⑤① Int. Cl. 3:
A61B 17/22

⑳ Aktenzeichen: P 32 41 026.3-35
㉑ Anmeldetag: 6. 11. 82
㉒ Offenlegungstag: 10. 5. 84
㉓ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 25. 10. 84

DE 3241026 C2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

㉔ Patentinhaber:
Domier System GmbH, 7990 Friedrichshafen, DE

㉕ Erfinder:
Wess, Othmar, Dr., 7997 Immenstaad, DE

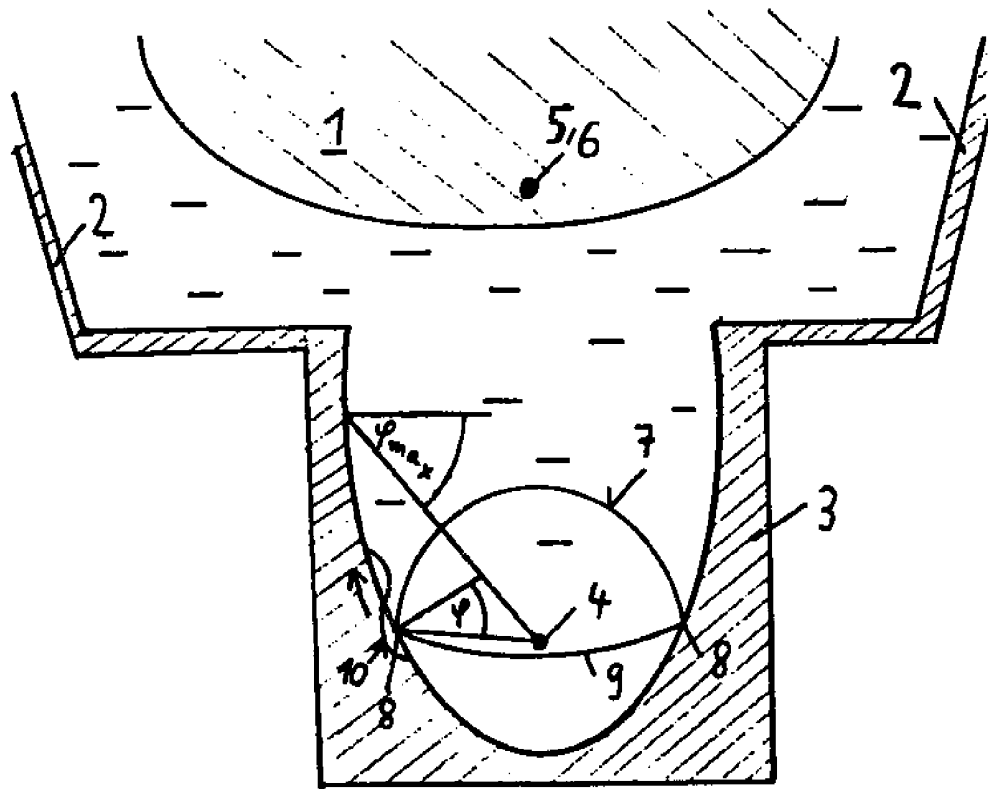
㉖ im Prüfungsverfahren entgegengehaltene
Druckschriften nach § 44 PatG:
DE-OS 23 51 247

⑤④ Reflektor zur Fokussierung von Stoßwellen

Reflektor zur Fokussierung von Stoßwellen zur berührungslosen Zerkleinerung von Konkrementen in Körpern von Lebewesen, bei dem durch geeignete Materialauswahl und Geometrie ein Voreilen einer Transversalwelle im Reflektormaterial vor der Stoßwellenfront im Koppelmedium verhindert wird.

DE 3241026 C2

Fig.



Patentansprüche:

1. Reflektor zur Fokussierung von Stoßwellen in einer Koppelflüssigkeit, z. B. Wasser, zur berührungslosen Zerkleinerung von Konkrementen in Körpern von Lebewesen, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausbreitungsgeschwindigkeit c_{70} einer transversalen Oberflächenwelle im reflektierenden Material kleiner ist als die Schallgeschwindigkeit c_s in der den Reflektor füllenden Koppelflüssigkeit.

2. Reflektor zur Fokussierung von Stoßwellen in einer Koppelflüssigkeit, z. B. Wasser, zur berührungslosen Zerkleinerung von Konkrementen in Körpern von Lebewesen, dadurch gekennzeichnet, daß die Ausbreitungsgeschwindigkeit c_{70} einer transversalen Oberflächenwelle im reflektierenden Material größer ist als die Schallgeschwindigkeit c_s in der den Reflektor füllenden Koppelflüssigkeit und daß die Exzentrizität und der Umschließungswinkel des Reflektors und die Auswahl des reflektierenden Materials nur Einfallswinkel φ zulassen, die zwischen 0 und φ_{max} variieren, wobei gilt:

$$\varphi_{max} < \varphi_K = \arcsin \frac{c_s}{c_{70}}$$

mit

φ_{max} = maximal auftretender Einfallswinkel der nicht fokussierten Stoßwellen auf den Reflektor

φ_K = kritischer Einfallswinkel, bei dem eine Stoßwellenfront so schnell wie eine transversale Oberflächenwelle im Reflektormaterial über den Reflektor läuft.

3. Reflektor nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Reflektor oder seine innere reflektierende Oberfläche aus Blei, Zinn oder Tantal besteht.

4. Reflektor nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Reflektor ein Teilellipsoid darstellt, dessen Grenzwinkel φ_{max} wegen eines relativ kleinen Umschließungswinkels kleiner als der Winkel φ_K ist.

5. Reflektor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Exzentrizität des Reflektorkörpers nahe bei 1 liegt.

Die Erfindung betrifft einen Reflektor zur Fokussierung von Stoßwellen in einer Koppelflüssigkeit, z. B. Wasser, zur berührungslosen Zerkleinerung von Konkrementen in Körpern von Lebewesen.

Ein derartiger Reflektor ist aus der DE-OS 23 51 247 bekannt.

Der Reflektor besitzt die Form eines Ellipsoids und hat die Aufgabe, Stoßwellen, die an einer Funkenstrecke im ersten Brennpunkt erzeugt werden und sich durch eine Flüssigkeit im Reflektor ausbreiten auf den zweiten Brennpunkt, in dem sich das zu zerstörende Konkrement z. B. ein Nierenstein befindet, zu fokussieren. Der Reflektor soll einen möglichst hohen Anteil der im er-

sten Brennpunkt erzeugten Wellenenergie möglichst phasenrichtig in den zweiten Brennpunkt übertragen.

Bekannt sind Reflektoren aus Messing mit einem Umschließungswinkel von ca. 250°, wobei der volle Raumwinkel (4π) zu etwa 90% ausgenutzt wird und einem Achsverhältnis $a:b$ von ungefähr 2:1 (E. Schmiedt: Beiträge zur Urologie, Bd. 2, Seite 8-13, München 1980). Als Umschließungswinkel wird derjenige Winkel bezeichnet, der von den beiden in einer durch die Hauptachse des Reflektors verlaufenden Ebene liegenden Randstrahlen eingeschlossen wird und dem Scheitelpunkt des Reflektors zugewandt ist. Die Materialauswahl erfolgt aufgrund eines möglichst hohen Sprunges in der Schallimpedanz $Z = \rho \cdot c$ (ρ = Dichte; c = Schallgeschwindigkeit) zwischen Flüssigkeit und Reflektormaterial, um einen hohen Reflexionskoeffizienten zu erhalten. Die weiteren Randbedingungen wie Stabilität und leichte Bearbeitbarkeit haben bisher zur Verwendung von Messing geführt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Reflektor zu schaffen, der Stoßwellen mit einem höheren Wirkungsgrad als die aus dem Stand der Technik bekannten Reflektoren fokussiert.

Gelöst wird diese Aufgabe von einem Reflektor mit den im Anspruch 1 oder in Anspruch 2 genannten Merkmalen.

Ausbildungen der Erfindung sind Gegenstände von Unteransprüchen.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, daß nicht der Sprung im Schallwellenwiderstand $\rho \cdot c$ allein die entscheidende Größe für eine gute Fokussierung ist, sondern daß die Geschwindigkeiten der Schallwelle im Reflektormaterial und in der Flüssigkeit aufeinander abgestimmt sein müssen. Die auf die Oberfläche des Reflektors treffenden Wellen regen diesen u. a. zu Transversalschwingungen an, die sich mit charakteristischen Ausbreitungsgeschwindigkeiten im Reflektormaterial und an dessen Oberfläche ausbreiten. Zu Störungen der reflektierten Wellenfront kommt es, wenn aufgrund von Laufzeitunterschieden die Reflexionsfläche bereits in Richtung der Flächennormalen schwingt, wenn die Primärwellenfront einläuft.

Eine phasenrichtige Fokussierung in den zweiten Brennpunkt wird dann erreicht, wenn sich die Welle in der Flüssigkeit schneller als im Reflektor ausbreitet. Die Wellenfront trifft dann stets auf eine ruhende Reflektoroberfläche.

Gemäß der Erfindung können jedoch auch Materialien verwendet werden, deren transversale Oberflächengeschwindigkeit größer als die Schallgeschwindigkeit im Koppelmedium z. B. Wasser ist, wenn nur die Voreilung der Oberflächenwelle durch die Geometrie des Reflektors durch Einhalten der im Anspruch 2 genannten Bedingung verhindert wird. Die reflektierte Nutzwelle bleibt dann selbst ungestört und behält die ursprüngliche Flankensteilheit der Primärwelle bei. Alle übrigen Störungen — die z. B. durch die nachhinkende Oberflächenwelle erzeugt werden — folgen der Nutzwelle zeitlich verzögert und können den Fokussierungsvorgang nicht beeinträchtigen.

Erfindungsgemäße Reflektoren realisieren eine wesentlich bessere Fokussierung als bisher, da alle Wellenanteile sich phasenrichtig überlagern. Die Flankensteilheit des Druckanstiegs, die für eine Zerkleinerung wesentlich ist, bleibt hoch. Die Zerkleinerungsleistung steigt, es sind weniger Applikationen als bisher notwendig, wodurch der Patient entlastet wird und die Standzeiten der Funkenstrecke erhöht wird.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung wird anhand der einzigen Figur erklärt:

Die Figur zeigt schematisch einen menschlichen Körper 1 mit einem Nierenstein 6 in einer wassergefüllten Wanne 2. An der Unterseite der Wanne 2 ist ein ellipsoidförmiger Reflektor 3 mit den beiden Brennpunkten 4 und 5 befestigt, der ebenfalls mit Wasser gefüllt ist. Im Brennpunkt 4 im Inneren des Reflektors 3 befindet sich eine Funkenstrecke (nicht gezeigt), die durch Unterwasserentladung Stoßwellen erzeugen kann. Im zweiten Brennpunkt 5, außerhalb des Reflektors, liegt das zu zerstörende Konkrement, z. B. der Nierenstein 6. Durch die Reflektorgeometrie ist der Grenzwinkel φ_{max} definiert. Wenn im Brennpunkt 4 eine Unterwasserentladung gezündet wird, entsteht eine Stoßwellenfront 7, die sich kugelförmig ausbreitet und vom Reflektor auf den Nierenstein geleitet wird. Durch die hohen Druck- und Zugamplituden werden Teile des Nierensteins zum Abplatzen gebracht. Eingezeichnet ist die Stoßwellenfront 7, die gerade an den Punkten 8 die Reflektoroberfläche erreicht. Sie trifft momentan unter einem Winkel φ auf die Reflektoroberfläche. Die auftretende Stoßwellenfront 7 wird zum größten Teil reflektiert (Front 9), erzeugt aber auch eine transversale Oberflächenwelle 10 (nicht maßstäblich gezeichnet), die sich in der Reflektoroberfläche ausbreitet (Pfeil). Bei erfindungsgemäßer Material- und Geometrieauswahl läuft die Stoßwellenfront 7 schneller über die Oberfläche als die störende Transversalwelle 10. Die Stoßwellenfront 7 trifft daher immer auf ruhendes Oberflächenmaterial, sie wird also ungestört reflektiert. Die reflektierte Wellenfront 9 behält die ursprüngliche Flankensteilheit im Druckanstieg. Alle reflektierten Anteile überlagern sich phasenrichtig. Für die Zerkleinerung des Steins 6 geht kaum Energie verloren. Werden die erfindungsgemäßen Bedingungen nicht eingehalten, so trifft die Stoßwellenfront 7 auf schon von der Oberflächenwelle 10 angeregte Teile des Reflektors. Durch Wechselwirkung der Stoßwellenfront 7 mit der Oberflächenwelle 10 wird die reflektierte Welle 9 in Amplitude und Phase beträchtlich gestört. Die Folge ist, daß Energie für die Zerkleinerung des Konkrements fehlt oder daß der Druckanstieg am Ort des Konkrements durch die nicht phasenrichtige Überlagerung der einzelnen Anteile zu langsam erfolgt.

Ausführungsbeispiele

1. Die Bedingung $c_{TO} < c_S$ wird erfüllt, wenn als Reflektormaterial Blei und als Koppelflüssigkeit Wasser verwendet wird. Da die transversale Schallgeschwindigkeit in Blei mit 710 m/sec kleiner als die Schallgeschwindigkeit in Wasser mit 1480 m/sec ist, ist die sich ausbreitende Stoßwellenfront 7 immer schneller als die Oberflächenwelle 10. Die Bedingung ist daher unabhängig von der Reflektorgeometrie immer erfüllt. Ein kritischer Winkel φ_K tritt nicht auf. Es ist nicht notwendig, daß der ganze Reflektorkörper aus Blei hergestellt wird. Es reicht, wenn die innere Oberfläche des Reflektors aus einer Bleischicht besteht.
2. Die erfindungsgemäße Bedingung kann auch von Reflektoren aus einem Material erfüllt werden, dessen $c_{TO} > c_S$ ist. Ein wassergefüllter Reflektor aus Zinn ($c_{TO} = 1670$ m/sec) mit den Halbachsen $a = 12,5$ cm und $b = 7,5$ cm erfüllt die erfindungsgemäße Bedingung, wenn der maximal auftretende Einfallswinkel φ_{max} kleiner als der kritische Winkel $\varphi_K = 62,4^\circ$ ist.

3. Der zum Stand der Technik gehörende Messingreflektor ($c_{TO} = 2120$ m/sec) besitzt bei Wasserfüllung einen kritischen Winkel von $44,8^\circ$, jedoch einen maximalen Einfallswinkel von $53,1^\circ$. Er erfüllt die erfindungsgemäße Bedingung nicht, eine optimale Fokussierung ist nicht gegeben. Die Fokussierung kann bei gleichem Material verbessert werden durch Wahl des Achsenverhältnisses des Ellipsoids näher an 1 oder durch Verzicht auf Randzonen (kleinerer Umschließungswinkel). Die Randzonen sind aber für die Übertragung äußerst wichtig und sollten nicht weggelassen werden.

In Analogie zur Schallmauer ergibt sich beim kritischen Winkel φ_K die Situation, daß die Quelle der Oberflächenschwingung (die einlaufende Primärfront) sich auf der Reflektorfläche mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit c_{TO} der Oberflächenwelle selbst ausbreitet und damit phasenrichtig Energie in die Oberflächenwelle einkoppelt. Erst wenn nach einer gewissen gemeinsamen zurückgelegten Strecke sich aufgrund der veränderten Reflektorgeometrie der Einfallswinkel φ vergrößert, kann die jetzt energiereiche Oberflächenwelle der einfallenden Stoßwellenfront vorauslaufen und ihre Energie nach Art des Mach'schen Kegels (modifiziert durch die gekrümmte Reflektorfläche) ausstrahlen und u. a. teilweise noch vor der eigentlichen Nutzwellen in den Fokusbereich einbringen.

Hierzu 1 Blatt Zeichnungen