

12 **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

21 Anmeldenummer: **90102352.3**

51 Int. Cl.⁵: **G10K 11/28**

22 Anmeldetag: **07.02.90**

30 Priorität: **09.03.89 DE 3907605**

43 Veröffentlichungstag der Anmeldung:
12.09.90 Patentblatt 90/37

84 Benannte Vertragsstaaten:
CH DE ES FR GB IT LI

71 Anmelder: **DORNIER MEDIZINTECHNIK GMBH**
Postfach 1128
D-8034 Germering 1(DE)

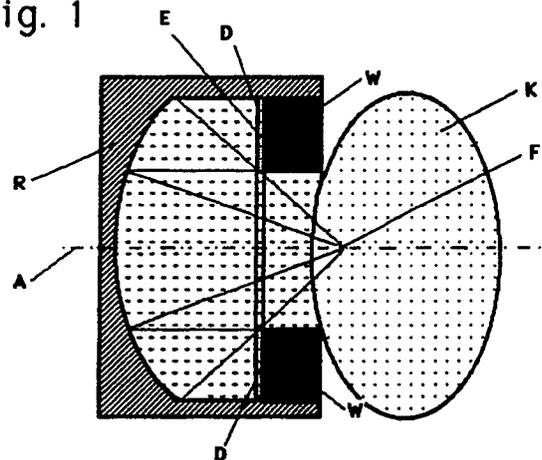
72 Erfinder: **Grünwald, Michael, Dr. Dipl.-Phys.**
An der Biberwiese 15
D-8034 Germering(DE)
Erfinder: **Eizenhöfer, Harald, Dipl.-Phys.**
Lenzfrieder Str. 14
D-8000 München 19(DE)

74 Vertreter: **Landsmann, Ralf, Dipl.-Ing.**
DORNIER GMBH - Patentabteilung - Kleeweg
3
D-7990 Friedrichshafen 1(DE)

54 **Stosswellenquelle.**

57 Stosswellenquelle, insbesondere für die berührungsfreie Lithotripsie mit einem flächigen Wellenerzeuger (W), der zylinderförmig ist und einen parabolförmigen Reflektor (R), der die wellen auf einen Brennpunkt (F) in der Längsachse (A) des Wellenerzeugers (W) fokussiert.

Fig. 1



Stosswellenquelle

Die Erfindung betrifft eine Stosswellenquelle nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Aus der DE-PS 23 51 247 ist ein punktförmige Stosswellenquelle für Lithotripter bekannt.

Eine flächige Stosswellenquelle ist aus der DE-OS 31 19 295 bekannt. Sie ist aus einzelnen Piezokeramikelementen aufgebaut. Diese flächige Quelle ist entweder selbstfokussierend als Kugelkalotte ausgebildet worden oder sie ist mit einem Abbildungssystem wie Reflektoren oder Linsen zur notwendigen Fokussierung versehen. Die Ausbildung einer Stoßfront aus einem Schalldruckpuls bei der flächenhaften Quelle ist durch nichtlineare Ausbreitung bei hinreichender Intensität gegeben.

Aus der DE-OS 34 47 440 ist eine Stosswellenquelle für die berührungsfreie Lithotripsie bekannt, die einen flächigen Wellenerzeuger (ein elektromagnetisches Stoßwellenrohr) und einen parabelförmigen Reflektor aufweist. Dieser fokussiert die ebene Stosswelle auf das Konkrement im Körper des Patienten. Diese Stosswellenquelle bildet den Oberbegriff des Anspruchs 1.

Um eine gute Zerkleinerungseffizienz im vivo bei geringen Neben- und Nachwirkungen der Behandlung zu erreichen, lassen sich folgende wesentliche technische Anforderungen an ein Stosswellensystem ableiten:

- hohe Dynamik in der Leistung
- gute Fokussierung möglichst unipolarer Pulse
- wenig Druck und vor allem Zug beim Eintritt in den Patienten
- gute und genaue Ortungsmöglichkeiten mittels Ultraschall und/oder Röntgen
- kompakter Aufbau
- hohe Lebensdauer.

Diese Anforderungen werden von den derzeit klinisch eingesetzten Systemen nicht vollständig bzw. nicht simultan erfüllt. So besitzen gegenwärtig eingesetzte punktförmige Quellen wohl eine hohe Leistung, aber nur einen begrenzten Dynamikbereich zu niedrigen Leistungen hin. Außerdem können sich die Stosswelle und zentrale (axiale) Ultraschall-Ortungsvorrichtungen stören. Selbstfokussierende Piezosysteme sind wegen der geringen Intensität an der Quelle relativ groß und haben daher nur wenig Platz für externe Röntgenortung. Ebene elektromagnetische Spulensysteme besitzen ausreichende Leistungsdichten an der Quelle, lassen sich aber nur eingeschränkt hochaperturig bei Linsenfokussierung auslegen. Selbstfokussierende elektromagnetische Kalottensysteme haben oft nicht die erwünschten Standzeiten.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, eine Stosswellenquelle für die Lithotripsie vorzuschlagen, die möglichst viele der oben genannten Anfor-

derungen gleichzeitig erfüllt.

Erfindungsgemäß wird eine Stosswellenquelle mit den Merkmalen des Anspruchs 1 vorgeschlagen.

5 Sie erfüllt die Anforderungen nach ausreichender Leistung, ausreichender Leistungsdynamik, Hochaperturigkeit und Integration der Ortungssysteme gleichzeitig.

Benutzt wird die Eigenschaft einer Parabel bzw. eines Paraboloids, eine ebene Wellenfront auf einen Brennpunkt abzubilden.

10 In einer Ausführung wird die Quelle ringförmig in der Einfallsebene des Paraboloids angeordnet, so daß sich wegen der endlichen Dicke eine Art "Lochzylinder" ergibt. Das Loch in der Mitte ist notwendig, da der Fokus quellenseitig liegt. Außerdem ist die axiale Öffnung, das heißt die ringförmige Auslegung der Quelle sinnvoll, da bei einem bestimmten minimalen Aperturwinkel der reflektierte Schall vom oberen Paraboloidrand auf die Quelle reflektiert wird und damit für die Fokussierung verloren ginge.

15 Die reflektierte, sphärisch konvergente Wellenfront ist also hochaperturig fokussiert mit freiem Zentralbereich, der dann z.B. für Ortungssysteme zur Verfügung steht. Die Möglichkeiten der Anordnung sind sehr variabel - so kann die effektive Fokustiefe reduziert werden, wenn der Ring der Quelle einen so grossen Innenradius hat, daß er quasi um den Patienten gelegt werden kann. Der Fokus liegt dann zwischen der Quelle und dem Reflektor. Hier ist der limitierende Faktor für den Innenradius nicht die Selbstabschattung der Quelle, sondern der Platz für den Patienten oder das zu behandelnde Körperteil des Patienten im Raum zwischen Reflektor und Quelle.

20 In einer anderen Ausführung liegt der Fokus hinter der Stosswellenquelle. Die Stosswellen laufen durch das Loch in der Mitte auf diesen Punkt zu.

Als Vorteile dieser Quellen/Reflektorgeometrie lassen sich nennen:

- Hohe Variabilität und Flexibilität bezüglich Größe der Quelle, so daß die ebenen Flächenquelle nach Leistungsanforderungen und Leistungsmöglichkeiten ausgelegt werden kann.
- Die Anordnung ist gleichermaßen für piezoelektrische als auch für elektromagnetische Schallpulserzeugung einsetzbar.
- 25 - Die ebene Form der Quelle vereinfacht eine Hochleistungsauslegung (Isolierung, Kontaktierung).
- Gute Fokussierung durch hohe Apertur und Schallfeldfreiheit in der Mitte.
- Die zentrale Schallfeldfreiheit lässt genügend Platz für Ortungssysteme (Ultraschall und/oder

Röntgen).

- Ortung und Stosswelle stören sich nicht.
- Reduktion der axialen Druck- und insbesondere Zuganteile durch zentrale Schallfeldfreiheit.

Eine andere Ausführung der Erfindung besteht darin, daß eine zylinderförmige Quelle verwendet wird, die mit ihrer Mantelfläche auf den sie umgebenden Reflektor abstrahlt. Dieser Reflektor wird durch Rotation einer Teilparabel um eine Linie erzeugt, die senkrecht durch den Fokuspunkt der Parabel verläuft und gleichzeitig die Symmetrieachse der zylinderförmigen Quelle darstellt. Dabei wird eine Zylinderwelle durch den radial nach außen Schall abstrahlenden Zylindermantel erzeugt. Diese Anordnung kann z.B. durch ein kompaktes Rohr aus Piezokeramik realisiert werden, auf dessen Mantelfläche die Piezokeramikelemente angeordnet sind. Diese Geometrie erlaubt hinsichtlich Fokuslänge und Apertur eine hohe Variabilität, ähnlich der Auslegung des Ellipsoid-Reflektors bei der Unterwasserfunkenentladung, insbesondere wenn die Quelle eine hohe Leistungsdichte besitzt.

Möglich ist auch - für hohe Leistungen bei kompaktem Aufbau - eine elektromagnetische Quelle in Zylindergeometrie, das heißt eine Längsspule mit leitfähigem Zylindermantel als abstrahlender Membran. Die Schallquelle besteht dann aus Spule, Isolierung und einem leitfähigen Außenzylinder, der bei Beaufschlagung der Spule mit Strom oder Pulsen durch die abstossende Kraftwirkung zwischen primärem und sekundärseitig induziertem Strom radial nach außen ausgelenkt wird. Die technischen Probleme wie Enge und genaue Kopplung zwischen Spule, Membran und Isolierung, sowie die Ausdehnung in umlaufender Richtung bei radialer Ausdehnung (Abstrahlung) sind beherrschbar. Diese bestimmen neben der notwendigen Gesamtfläche den minimalen Radius.

In einer Ausführungsform wird eine einlagige Zylinderspule (Flachspule) verwendet, die aus flachen Leiterbahnen gewickelt sein kann, die auf einen Isolatorträger aufgebracht sind. Die zylindrische Membran kann z.B. aus einer Kupferschicht und einer Edelstahlschicht zusammengesetzt sein. Die Kupferschicht sorgt für gute elektrische Eigenschaften, der Edelstahlmantel für gute mechanische Festigkeit.

Letztere ist aber nicht zwingend notwendig.

Es ist ebenso möglich, die zylindrische Membran aus mehreren Metallschichten aufzubauen, die durch Isolationsfolien voneinander getrennt sind, so wie es in der deutschen Patentanmeldung P 37 43 822 bereits vorgeschlagen wurde. Dadurch können Wirbelstromverluste verringert werden.

Eine mögliche Realisierung besteht z.B. in der Verwendung von z.B. 10 mm breiten Kupfer-Flachband mit einer Dicke von z.B. 0,2 mm, abgestimmt auf die Eindringtiefe des Feldes bei gegebener

Pulsdauer sowie durch die notwendige mechanische Stabilität der Zylindermantelmembran. Die Dicke der Isolierung bestimmt dabei die Hochspannungsfestigkeit.

Ein beispielhaft verwendbares mit Kapton isoliertes Kupfer-Flachband sollte dabei zur Isolierfestigkeit der Spule in Längsrichtung (Wickelrichtung) mindestens dreimal so breit sein, wie die Kupferbahn. Die Membran kann dann spaltfrei auf die Spule aufgeschumpft werden. Dies kann z.B. durch Erhitzen, Aufschieben und anschließendes Auskühlen erfolgen.

Die Erfindung wird anhand von fünf Figuren näher erläutert.

Es zeigen:

Figuren 1 und 2 zwei erfindungsgemäße Ausführungen von Stosswellenquellen,

Figur 3 eine Ausführung eines Wellenerzeugers, wie er in der Stosswellenquelle der Figur 2 einsetzbar ist,

Figur 4 eine Stosswellenquelle mit grösserer Öffnung,

Figur 5 zwei Folien, aus denen je eine Spule wickelbar ist.

Figur 1 zeigt einen Patientenkörper K und eine Stosswellenquelle, bestehend aus dem Wellenerzeuger W und dem Reflektor R. Der Wellenerzeuger W ist hier als Zylinder ausgebildet, auf dessen dem Reflektor R zugewandten Deckfläche D die abstrahlenden Elemente E (z.B. Piezoelemente oder eine elektromagnetische Spule) angeordnet sind. Die Elemente E strahlen die Wellen nach links zum Reflektor R hin ab, von wo sie auf den Brennpunkt F, der auf der Mittelachse A des Reflektors liegt, fokussiert werden. Der Reflektor R ist mit einer Flüssigkeit gefüllt und mit einer Membran gegenüber dem Körper K abgeschlossen. Eventuelle Ankoppelkissen sind hier nicht gezeigt. Eingezeichnet sind die Wellennormalen von Stosswellen, die von den Elementen E erzeugt werden, nach links auf den Reflektor laufen, von dort reflektiert werden, und sich im Brennpunkt F treffen.

Figur 2 zeigt eine andere Ausführung, bei der die Stosswellenquelle einen zylinderförmigen Wellenerzeuger W aufweist, bei dem die abstrahlenden Elemente E auf der Mantelfläche M des Wellenerzeugers aufgebracht sind. Die Elemente E strahlen radial nach außen ab. Die Stosswellen werden vom Reflektor R wiederum auf den Brennpunkt F fokussiert, der zum einen im Körper K des Patienten liegt und zum anderen auf der Symmetrieachse A der Stosswellenquelle.

Nicht gezeigt sind hier die Füllung der Stosswellenquelle mit schalleitendem Medium und eventuelle Ankopplungen über Kissen oder ähnliches.

Figur 3 zeigt eine Ausführung eines Wellenerzeugers, wie er bei der Stosswellenquelle der Figur 2 einsetzbar ist.

Der Wellenerzeuger W besteht hier aus einem keramischen oder glasartigen Träger T, um den eine Flachspule FS gewickelt ist. Diese Spule kann aus diskretem Kupferdraht aufgebaut sein, sie kann auch durch kupferbeschichtetes Kapton, das entsprechend geätzt ist, so daß ein einziger Kupferstreifen übrigbleibt, der anschließend aufgewickelt wurde, hergestellt sein. Dieser Träger T mit Flachspule FS wird umgeben von einer zylindrischen Membran Z, die den Träger T wie ein Mantel M umgibt. Die Zylindermembran Z besteht in dieser Ausführung aus einer Kupferschicht Cu und einer Edelstahlschicht Ed.

Die nicht eingezeichnete Isolierung zwischen Bandspule FS und Kupfermembran Z kann aus einer separaten Schicht Kapton bestehen; sie kann bei geeigneter Wickeltechnik der kupferbeschichteten abgeätzten Kaptonfolie von dieser selbst übernommen werden, wie anhand von Figur 5 geschildert. Der in der Figur sichtbare Spalt zwischen der Isolierung der Spule FS und der Membran Z ist möglichst eng auszulegen, ideal gleich null.

Figur 4 zeigt schematisch eine Stosswellenquelle mit dem radial abstrahlenden zylindrischen Wellenerzeuger W und dem Reflektor R, der ihn umgibt. Aus dieser Figur können realisierbare Größenverhältnisse der Bauteile zueinander und Winkel abgelesen werden. Figur 4 zeigt eine maßstabgetreue (1:2) Realisierung. Die Daten im einzelnen:

- Länge Spule: 13 cm
- Durchmesser Spule: 6 cm
- Fokusslänge: 15 cm
- Apertur 42.4°
- Durchmesser Paraboloid: 27.4 cm

Die abstrahlende Fläche entspricht dabei der einer ebenen EMSE mit fast 18 cm Durchmesser. Durch den endlichen Radius der Zylinderquelle ergibt sich ein minimaler Aperturwinkel, der allerdings nicht durch Abschattung der Quelle zu Stande kommt. Verlängerung des Zylinders ermöglicht eine Vergrößerung der Fläche, wobei sich der Parabeldurchmesser im selben Maße vergrößert. Ortung ist unter Umständen durch die zentrale Öffnung der Quelle möglich. Die radial abgestrahlten Wellen werden vom paraboloidförmigen Reflektor R auf den Brennpunkt F auf der Spulenchse A gelenkt. Der Zusammenhang zwischen Öffnungswinkel ϕ und Abstand:Linienquelle - Fokus h lautet hier:

$$h = p \cdot \cos \phi / (1 + \sin \phi)$$

wobei p der Parabelparameter ist ($y^2 = 2px$). Der Fokus liegt bei $x = p/2$. Äquivalent dazu ist

$$\tan \phi = (p/h - h/p)/2$$

Ein Vorteil dieser Geometrie besteht darin, aus einer kleinen, kompakten Flächenquelle eine hohe Apertur und damit gute Fokussierung zu erzielen. Die Druckamplitude $f(\phi)$ in der Apertur folgt dem Gesetz für eine Zylinderwelle und ist im Zentralbe-

reich überhöht:

$$f(\phi) \sim (\sin \phi (1 + \sin \phi))^{-1/2}$$

Figur 5 zeigt schematisch Beispiele für zwei Kaptonfolien Ka, die jeweils einen Streifen Kupfer Cu tragen. Auf der linken Kaptonfolie ist der Kupferstreifen in der Mitte aufgebracht, bei der Rechten rechts. Durch schraubenförmiges Aufwickeln jeder der Folien auf einen zylindrischen Träger, so daß eine Kupferschicht neben der anderen liegt, lässt sich je eine Flachspule herstellen. Dabei überlappen dann die linken Kaptonschichten über die vorher gewickelten Kupferschichten Cu und dienen dort als Isolierung. Beim Aufwickeln der rechts gezeigten Folie überlappen dann zwei Isolationsschichten.

Ansprüche

1. Stosswellenquelle, insbesondere für die berührungsfreie Lithotripsie, mit einem flächigen Wellenerzeuger (W) und einem parabelförmigen Reflektor (R), **dadurch gekennzeichnet**, daß der Wellenerzeuger (W) Zylindergeometrie oder Ringgeometrie hat und daß die Wellen durch eine einzige Reflexion vom Reflektor (R) auf einen Brennpunkt (F) in der Längsachse (A) des Wellenerzeugers (W) fokussiert werden.

2. Stosswellenquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die abstrahlenden Elemente (E) eben sind und auf der dem Reflektor (R) zugewandten Deckfläche (D) des Wellenerzeugers (u) angeordnet sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Wellenerzeuger (W) als Hohlzylinder ausgebildet ist und daß der Brennpunkt (F) auf der dem Reflektor (R) abgewandten Seite des Wellenerzeugers (W) liegt.

4. Stosswellenquelle nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die abstrahlenden Elemente (E) auf der Mantelfläche (M) des Wellenerzeugers (W) angeordnet sind.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß als abstrahlende Elemente (E) Piezoelemente oder elektromagnetische Spulensysteme verwendet sind.

6. Vorrichtung nach Anspruch 4 oder Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß als abstrahlende Elemente (E) eine Zylinderspule mit zylindrisch sie umgebender Membran (Z) verwendet ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Zylinderspule einlagig aus flachen Leiterbahnen gewickelt ist.

8. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß die zylindrische Membran (Z) eine Kupferschicht (Cu) und eine Edelstahlschicht (Ed) oder mehrere durch Isolationsschichten getrennte Metallschichten enthält.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Membran thermisch aufgeschumpft ist und dadurch eng anliegt.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

5

Fig. 1

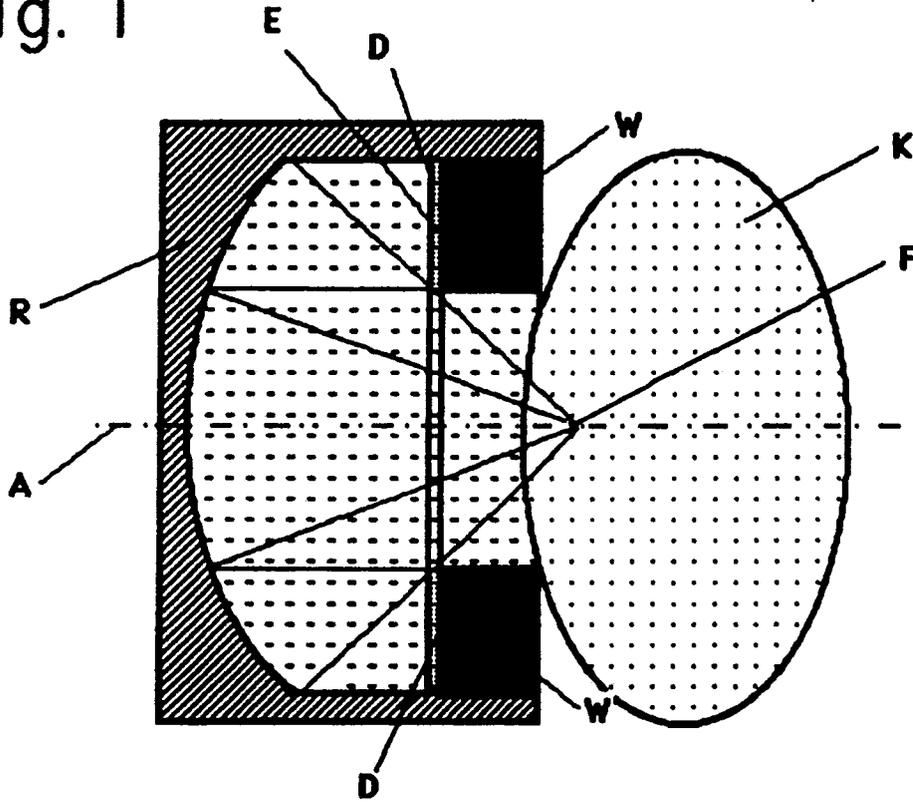


Fig.2

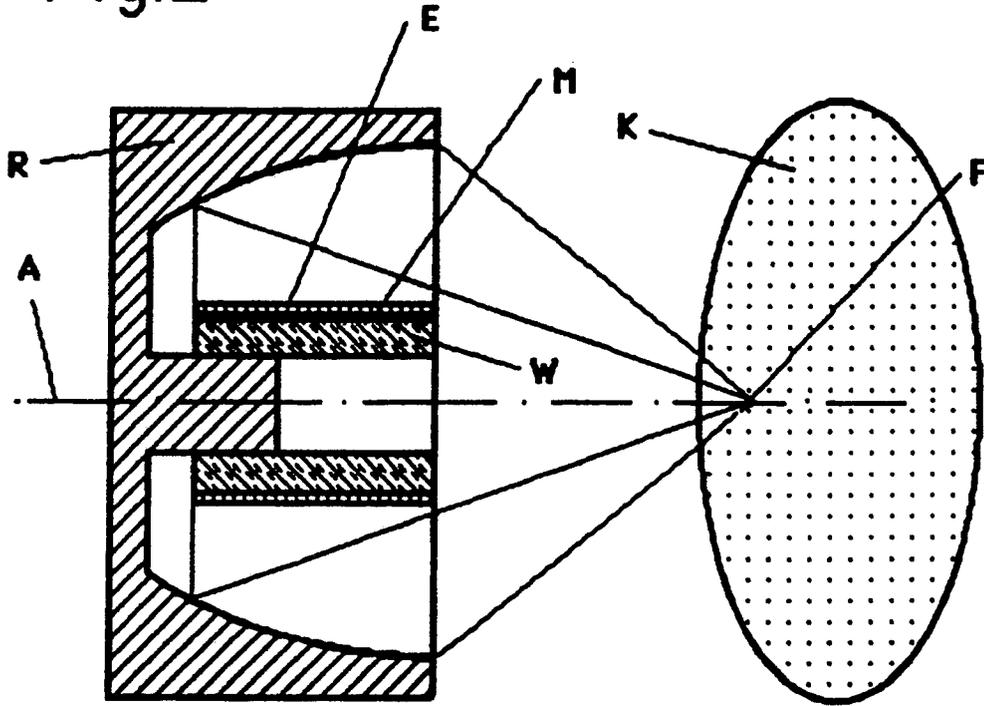


Fig. 3

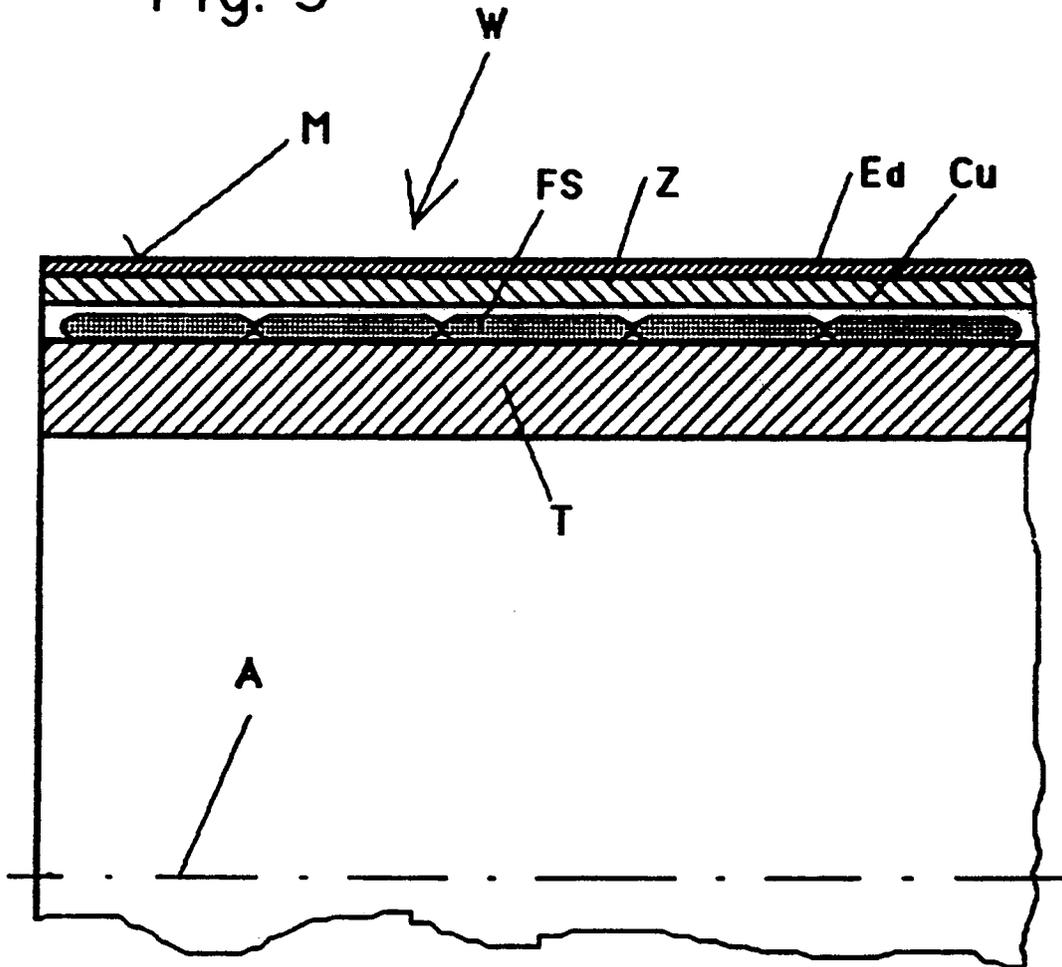


Fig. 4

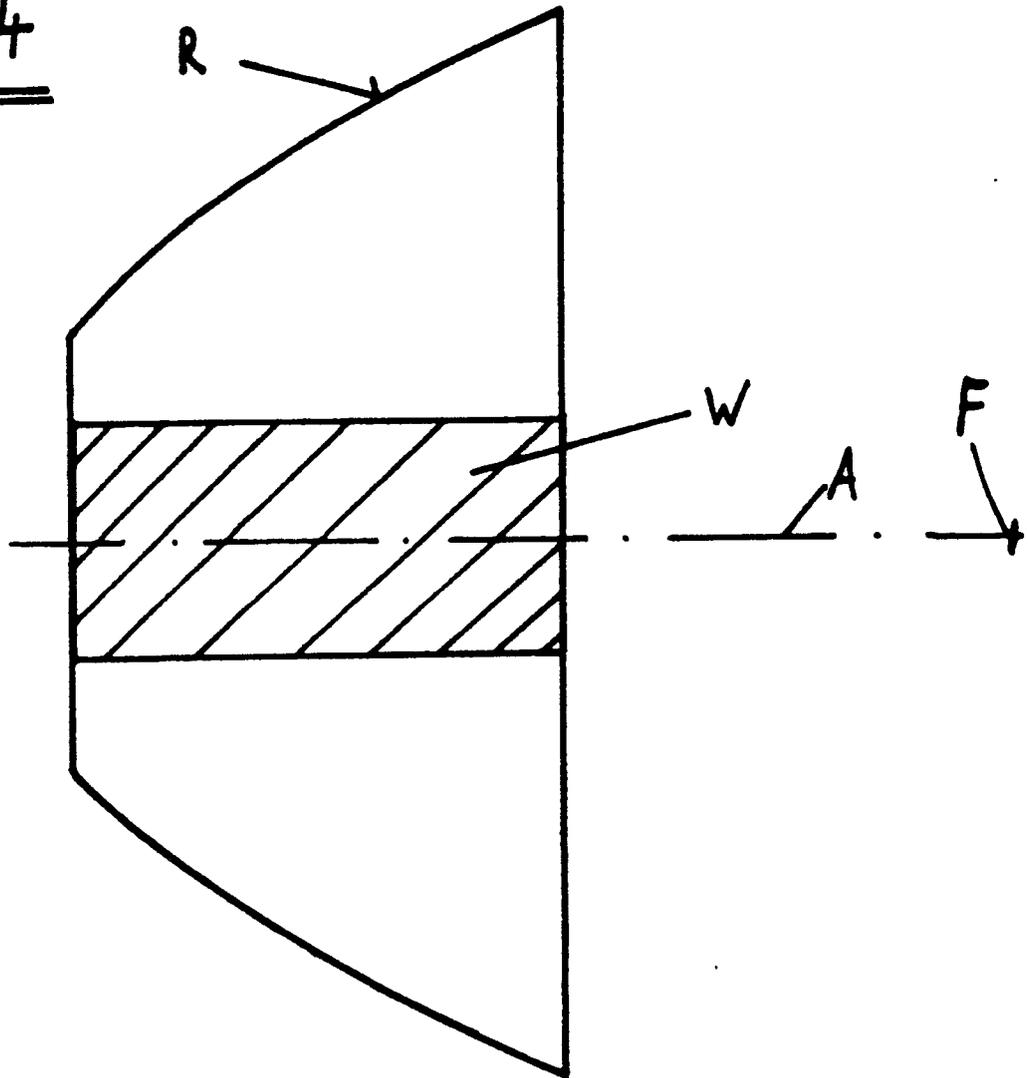


Fig. 5

