

⑤

Int. Cl. 2:

**G 21 C 17/06**

⑱ **BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

G 01 B 17/00

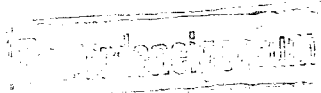
G 01 M 3/24

G 01 N 29/04

**DEUTSCHES PATENTAMT**



**DE 28 02 639 A 1**



⑪

# **Offenlegungsschrift 28 02 639**

⑲

Aktenzeichen:

P 28 02 639.3-33

⑳

Anmeldetag:

21. 1. 78

㉓

Offenlegungstag:

9. 11. 78

③

Unionspriorität:

③② ③③ ③①

6. 5. 77 V.St.v.Amerika 794508

⑤④

Bezeichnung:

Ultraschall-Prüfeinrichtung

⑦①

Anmelder:

The Babcock & Wilcox Co., New York, N.Y. (V.St.A.)

⑦④

Vertreter:

Karstedt, E., Dipl.-Ing. Dr., Pat.-Anw., 4200 Oberhausen

⑦②

Erfinder:

Lawrie, William E., Lynchburg, Va. (V.St.A.)

Prüfungsantrag gem. § 28 b PatG ist gestellt

**DE 28 02 639 A 1**

17. 1. 1978

Anw.-Akte: 27.139

P A T E N T A N S P R Ü C H E :

- =====
1. Ultraschall-Prüfeinrichtung zur Feststellung von schadhaf-  
haften Brennelementen, die mit Abstand in einem Brenn-  
bündel in einem wassergekühlten Kernreaktor angeordnet  
sind, dadurch g e k e n n z e i c h n e t , daß es  
umfaßt:
    - a) einen Streifenträger mit wechselseitig gegenüber-  
liegenden Flächen, wobei der Streifenträger so be-  
messen ist, daß er frei die Zwischenräume zwischen  
den Brennelementen durchläuft, und wobei er eine  
Öffnung aufweist,
    - b) einen Ultraschallgeber, wobei Elektroden auf mindestens  
zwei Seiten des Gebers aufgelagert sind und der Ultra-  
schallgeber innerhalb der Öffnung so angeordnet ist,  
daß eine der Elektroden bündig mit einer der Streifen-  
trägerflächen abschließt,
    - c) Mittel zur Erdung des Ultraschallgebers an dem Streifen-  
träger,
    - d) Mittel zur Neutralisierung des Ultraschallgebers  
gegenüber dem Streifenträger  
und
    - e) Mittel, um den Ultraschallgeber an Spannung zu legen.

2. Ultraschall-Prüfeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Ultraschallgeber ein ferroelektrisches, keramisches Material ist.
3. Ultraschall-Prüfeinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das ferroelektrische, keramische Material Bleititanatzirkonat ist.
4. Ultraschall-Prüfeinrichtung zur Feststellung von schadhafte Brennelementen die mit Abstand in einem Brennbündel in einem wassergekühlten Kernreaktor angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, daß es umfaßt:
  - a) einen Träger, der so bemessen ist, daß er frei die Zwischenräume zwischen den Brennelementen durchläuft,
  - b) einen Ultraschallgeber, der an dem Träger befestigt ist, und
  - c) Mittel, um den Ultraschallgeber an Spannung zu legen.
5. Ultraschall-Prüfeinrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Träger ein hohles Rohr ist und die Mittel, durch die der Ultraschallgeber an Spannung gelegt wird, innerhalb des hohlen Rohrs angeordnet sind.

P A T E N T A N M E L D U N G

=====  
Anmelder: The Babcock & Wilcox Company,  
161 East 42nd Street, New York, N.Y. 10017-USA-  
=====

Titel: Ultraschall-Prüfeinrichtung  
=====

Die Erfindung betrifft eine Ultraschall-Prüfeinrichtung für die Feststellung von schadhafte Brennelementen in Kernreaktoren.

In wassergekühlten heterogenen Reaktoren wird eine Vielzahl von länglichen Brennelementen und Regelstab-Führungsrohren in enger Teilung innerhalb eines einheitlichen Gebildes angeordnet, das man Brennstabbündel nennt. Der Reaktorkern besteht im allgemeinen aus einem Gitter vertikal angeordneter Brennstabbündel, die auch Brennelemente genannt werden.

Jedes der länglichen Brennelemente, die alternativ als Brennstäbe bezeichnet werden, enthält Kernbrennstoff, der in einer dünnen Hülle verkapselt ist. Die Hülle ist an ihren Enden verschlossen und verhindert die Erosion des Brennstoffs sowie das Eindringen von Spaltprodukten in das Reaktorkühlmittel. Aluminium oder dessen Legierungen, nichtrostende Stähle sowie Zirkon sind als typische Hüllenmaterialien zu nennen.

Innerhalb der Brennelemente sind Füllkammern und Spielräume angeordnet, um Spaltproduktgas, das aus dem Brennstoff freigesetzt wird, eine unterschiedliche Wärmedehnung zwischen der Hülle und dem Brennstoff sowie Brennstoffdichteänderungen während des Abbrands aufzunehmen. Die Füllkammern befinden sich im allgemeinen an den Enden des Brennelements und enthalten Füllkammerfedern, die den Kernbrennstoff in einer festen Lage halten. In einigen Fällen werden die Brennelemente anfänglich mit einem Gas - im allgemeinen Helium - unter Überdruck gesetzt, um das Kriechen der Hülle während längerer Betriebszeiten bei hohen Reaktor-Kühlmittelsystem-Drücken auf ein Geringstmaß zu halten.

Die Brennelementhülle ist so dimensioniert, daß sie die Auswirkungen der Reaktorbetriebsverhältnisse aufnehmen kann, insbesondere die Auswirkungen, die auf die Kühlwasserhydraulik, die Brennstoffdehnung, die Reaktortemperatur und den Reaktordruck, den Spaltgasdruck und die Bestrahlungszunahme zurückzuführen sind. Man kann jedoch erwarten, daß während der Standzeit des Reaktors einige Hüllenschäden vorkommen, die es den radioaktiven Spaltprodukten ermöglichen, in das Kühlmittel oder den Moderator zu entweichen. Obwohl bereits Reinigungsverfahren bekannt sind, um eine bestimmte Radioaktivität zu entfernen, die durch Hüllenschäden erwartet wird, ist es wünschenswert oder notwendig, schadhafte oder "brüchige" Brennelemente festzustellen und zu ersetzen. Somit ist es wichtig, zuverlässige Mittel zu haben, um schadhafte Brennelemente feststellen zu können.

Einerseits ist die Feststellung eines einzelnen schadhafte Brennelements innerhalb eines Brennstabbündels äusserst schwierig, da das Bündel radioaktiv ist und Hunderte von dicht an dicht angeordneten Brennelementen sowie Führungs-

rohren enthält. Andererseits sind der Auseinanderbau und der Wiederausammenbau von bestrahlten Brennstabbündeln zeitraubend und können selbst auch zu Brennelementschäden führen.

Bei Reaktoren, die flüssige Kühlmittel verwenden, sind zahlreiche Vorrichtungen und Verfahren vorgeschlagen worden, um einzelne schadhafte Elemente innerhalb des Brennbündels festzustellen, und zwar auf der Grundlage der Feststellung von Analyse von Schwingungen, Temperaturunterschieden oder Ultraschallerscheinungen.

Diese Prüfvorrichtungen und -verfahren nach dem Stand der Technik sind im allgemeinen davon abhängig, daß ein Brennstabbündel mindestens teilweise auseinandergelöst wurde. Außerdem ist man bei diesen bekannten Verfahren stark von der Dynamik der thermodynamischen Zustandsänderungen des Mediums abhängig, das durch eine Undichtigkeit in das schadhafte Brennelement gelangt war, in typischer Weise durch Sieden oder Kondensieren oder durch beide Vorgänge.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Feststellung von schadhafte Brennelementen innerhalb eines Brennbündels zu erleichtern und ein zuverlässiges Verfahren und Geräte zu schaffen, bei dem es weder erforderlich ist, ein Brennbündel auseinanderzubauen, noch die Abhängigkeit vom Sieden oder Kondensieren des Mediums innerhalb der Brennelemente besteht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Maßnahmen des Hauptanspruches gelöst.

Eine Ultraschall-Prüfeinrichtung wird in den Zwischenraum zwischen den Teilen des Brennbündels eingeführt. Der kleinste

Zwischenraum, der zwischen den Brennbündelteilen besteht und in den der Schallgeber eingeführt werden muß, liegt in der Größenordnung von 2 mm. Das Prüfgerät besteht aus einem Geber, der von einem Träger gehalten wird, welcher in der Lage ist, den beschränkten Raum zu durchlaufen. Der Geber wird mit der unteren Füllkammer des zu prüfenden Brennelements ausgerichtet.

Es ist bekannt, daß Ultraschall in einem Megahertz-Frequenzbereich zwischen 5 und 15 MHz leicht durch Wasser hindurch wandert. Bei Frequenzen in diesem Megahertz-Bereich ist dagegen in Luft oder anderen Gasen die Ultraschalldämpfung hoch. Ein Ultraschallimpuls mit einer Frequenz von einigen Megahertz wird quer in die Wand des Brennelements eingeführt. Wenn das Brennelement nicht schadhaft ist, dann wird nur Gas in der unteren Füllkammer vorhanden sein. Der hohe Reflexionskoeffizient an der Metall-Gas-Trennstelle verhindert eine bedeutende Wanderung des Impulses über die Innenfläche der Hülle hinaus. Wenn dagegen das Brennelement schadhaft geworden ist, so daß die untere Füllkammer Wasser enthält, wird der Reflexionskoeffizient an der Metall-Flüssigkeits-Trennstelle auf der Innenfläche der Hülle unter denjenigen herabgesetzt, der durch eine Metall-Gas-Trennfläche erzeugt wird. Somit werden bedeutende Teile des Impulses durch das Wasser zu der gegenüberliegenden Wand wandern, zurückgeworfen und zum Geber zurückkehren. Die Feststellung der Rückstrahlung von der gegenüberliegenden Wand erlaubt den Schluß, daß Wasser in das Brennelement gedrungen ist.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird im folgenden näher beschrieben.

Es zeigt:

Fig. 1 eine Vorderansicht einer Ultraschall-Prüfeinrichtung,

Fig. 2 eine teilweise Unteransicht des in Fig. 1 dargestellten Geräts;

Fig. 3 eine schematische Darstellung, unter Verwendung des in Figur 1 gezeigten Geräts, des Echos eines Ultraschall-Radialimpulses in einem gasgefüllten Brennelement;

Fig. 4 ein Oszillogramm des Impulses und Echos, welches den Widerhall des gasgefüllten Brennelements nach Fig. 3 wiedergibt,

Fig. 5 eine schematische Darstellung, unter Verwendung des in Fig. 1 gezeigten Geräts, des Echos eines Ultraschall-Radialimpulses in einem schadhafte, mit Wasser gefüllten Brennelement,

Fig. 6 ein Oszillogramm des Impulses und Echos, welches den Widerhall des wassergefüllten Brennelements nach Figur 5 darstellt und

Fig. 7 ein Oszillogramm des Impulses und Echos, welches den Widerhall eines wassergefüllten Brennelements kennzeichnet, das in der unteren Füllkammer mit einer Feder versehen ist.

Fig. 1 zeigt eine Ultraschall-Prüfeinrichtung 20. Es schließt einen Ultraschallgeber 21 und einen Streifenträger 22 ein, der, wie man am besten der Figur 2 entnehmen kann, wechselseitig gegenüberliegende Flächen 23, 24 aufweist sowie eine Öffnung, in der der Geber 21 in geeigneter Weise angeordnet ist.



Der Ultraschallgeber 21, der ein polarisierter, ferroelektrischer, keramischer Stoff ist, welcher eine Elektrode aufweist, die auf zwei seiner Flächen aufgebracht oder aufgebracht ist, wird innerhalb der Öffnung so ausgerichtet, daß eine Fläche 25 bündig mit der Fläche 23 des Streifenträgers 22 abschließt. Die gegenüberliegende Fläche des Gebers ist innerhalb der Öffnung versenkt und mit Schalldämpfungsmaterial 26 verkleidet. Ein neutralisierendes Isoliermaterial 30 ist zwischen dem Umfang der Öffnung und den betreffenden gegenüberliegenden Flächen des Gebers vorgesehen. Der Geber 21 wird innerhalb der Öffnung durch einen elektrisch nicht leitfähigen Zement 31 gehalten. Die bündig zur Fläche 23 des Streifenträgers liegende Fläche 25 des Gebers 21 wird an dem Träger geerdet. Die Erdung erfolgt durch die Heftschiweißung mehrerer Leiter 32 oder durch andere geeignete Mittel.

Das neutralisierende Isoliermaterial 30 ist zwischen dem Geber und dem Träger angeordnet, um eine Ultraschallkopplung zwischen denselben zu minimieren.

Ein koaxiales Kabel 33, das einen inneren Leiter 34 und einen äußeren Leiter 35 aufweist, ist an einer Kante 36 des Streifenträgers befestigt. Der innere Leiter 34 ist an dem Geber 21 angeschlossen. Der äußere Leiter 35 ist an dem Streifenträger 22 angeschlossen.

Das Prüfgerät 20 muß in der Lage sein, frei die begrenzten Spielräume zwischen den Brennelementen oder zwischen einem Brennelement und einem Regelement-Führungsrohr eines Brennbündels zu durchlaufen, wobei der Abstand zwischen diesen Teilen 2 mm betragen kann. Somit müssen das Prüfgerät 20 sowie seine Einzelteile so ausgewählt werden, daß sie bestimmten Maßanforderungen gerecht werden, ohne die Ultraschalleigenschaften zu gefährden, die notwendig sind, um die Grundsätze des erfindungsgemäßen Prüfverfahrens anzuwenden.

Ein typisches Beispiel eines in Übereinstimmung mit den Grundsätzen der Erfindung gebauten Ultraschall-Prüfgeräts schließt einen Geber ein, welcher aus Bleizirkonattitanat gefertigt wird, 2,5 mm breit, 12,5 mm lang und 0,3 mm dick ist sowie in einem Aluminiumträger angeordnet wird. Der Geber wird von dem Umfang der Öffnung durch eine Korksicht isoliert. Die Vorder- und Rückflächen des Gebers werden mit aufgebrannten Silberelektroden beschichtet, während die bündig zu einer Trägerfläche angeordnete Geberfläche an dem benachbarten Aluminium an mehreren Stellen durch kleine Kupferdrähte geerdet wird, die an dem Aluminium und an der Silberelektrode heftgeschweißt werden. Eine Schicht leitenden Epoxydharzes kann über die Kupferdrähte und die Geberfläche, welche an der Trägerfläche liegt, gestrichen werden, um eine glatte Fläche für die Einführung in das Brennbündel zu erhalten. Das Dämpfungsmaterial 26 besteht aus zwei Wolframpulversorten, die mit einem Polysulfidpolymerisat niedrigen Molekulargewichts gemischt werden. Ein typisches Dämpfungsmaterial ist ein Gemisch aus Wolframpulver mit einer durchschnittlichen Teilchengröße von 3,5 Mikron und aus einem Wolframpulver mit einer durchschnittlichen Teilchengröße von 1,33 Mikron; dieses Gemisch wird dann seinerseits mit Thiokol LP-3 gemischt, das von der Thiokol Chemical Corporation, hergestellt wird und ein Polysulfidpolymerisat mit niedrigem Molekulargewicht ist. Ein nicht-leitendes Epoxydharz wird verwendet, um den Geber innerhalb der Öffnung zu befestigen. Die ausgesparte Fläche des Keramikmaterials wird an den inneren Leiter eines koaxialen Kabels angeschlossen, das entlang der Trägerkante angeordnet ist. Andere Anordnungen, Formen und Materialien können für den Geber zur Verwendung kommen, solange das Prüfgerät zwischen den Teilen des Brennbündels eingeführt werden kann. In einer anderen Ausführungsform könnte z.B. ein hohler, rohrförmiger Träger verwendet werden, in dem das koaxiale Kabel aufgenommen wird.

Fig. 3 zeigt, als Teil eines Brennbündels, eine schematische planparallele Anordnung eines Prüfgeräts 20, das quer zu der unteren Füllkammer eines Brennelements 40 ausgerichtet ist. Der Ultraschallgeber, welcher mit dem Brennelement 40 gekoppelt ist, um Ultraschallenergie in das Brennelement zu senden, wird durch einen nicht dargestellten Impulsgeber an Spannung gelegt, um Impulse in einem vorher festgelegten Takt und mit einer vorher festgelegten Frequenz auszusenden. Die Kippschaltung eines Leuchtschirms wird synchronisiert, um die gesendeten und die zurückgeworfenen Impulse darzustellen. Die Echowellen werden von dem Leuchtschirm über den Geber empfangen. Wenn das Brennelement nicht beschädigt ist, wird Gas das einzige Medium sein, das in der unteren Füllkammer vorhanden ist. Ein hoher Reflexionskoeffizient an der Metall-Gas-Trennfläche wird eine bedeutende Wanderung des Ultraschalls über die Innenfläche der Hülle hinaus verhindern. Der Widerhall, der auf einem konventionellen Impulsechoinstrument für ein gasgefülltes Brennelement dargestellt wird, ist als ein Oszillogramm in Fig. 4 gezeigt, wobei die Zeit (t) als Abszisse aufgetragen ist. Das Oszillogramm der Fig. 4 und auch die Oszillogramme der Figuren 6 und 7 sind typisch für die Darstellung, die man bei einer Frequenz von etwa 7 Megahertz erhält, wobei jede Teilung der Zeitskala etwa drei Mikrosekunden entspricht und der Außendurchmesser des Brennelements geringfügig unter 1,25 mm liegt. In Figur 4 ist das ausgesendete Signal im wesentlichen mit dem empfangenen Signal gemischt, das von der ersten oder vorderen Gas-Metall-Trennfläche zurückgesandt wurde, weil das Gas einen niedrigen Durchlässigkeitskoeffizienten hat.

Wenn dagegen das Brennelement beschädigt wurde, so daß die untere Füllkammer Wasser enthält, dann wird der Reflexionskoeffizient an der vorderen Trennfläche bedeutend vermindert. Somit, wie schematisch in Figur 5 dargestellt, werden bedeu-

tende Teile des Ultraschallimpulses durch die Flüssigkeit wandern und an der rückwärtigen Flüssigkeits-Metall-Trennfläche innerhalb des Brennelements 40 zurückgestrahlt. Somit wird ein Echosignal von einer verhältnismäßig ausgeprägten Größe auf der Zeitskala getrennt von dem ausgesendeten Signal dargestellt. Der Widerhall, der auf einem konventionellen Impulsochoinstrument bei einem schadhaften, mit Wasser gefüllten Brennelement dargestellt wird, ist als ein Oszillogramm in Fig. 6 gezeigt. Ein bedeutender Widerhall tritt bei etwa 15 Mikrosekunden auf der Abszisse ein - diese ist das von der Rückwand empfangene Echo.

Die untere Füllkammer eines Brennelements enthält im allgemeinen eine Schraubenfeder, die den freien Durchgang des Ultraschalls beschränken kann. Dies ist jedoch keine unüberwindliche Schwierigkeit. Wenn die Breite des piezoelektrischen Elements, entlang der Längsachse des Brennelements gemessen, größer ist als die Teilung der Schraubenfeder, dann wird der Schall zur rückwärtigen Wand wandern und zurück. Figur 7 zeigt den typischen Widerhall eines wassergefüllten Brennelements, welches eine Feder enthält.

Konventionelle Ultraschallgeräte enthalten Torschaltungen, welche die Aussendung von Signalen während einer in Bezug auf einen ersten Impuls gewählten Zeitdauer erlauben. Außerdem kann eine Schaltung vorgesehen werden, um ein Alarmsignal nur dann zu erzeugen, wenn der Ultraschallsignalausschlag in der durch Torschaltung gesperrten Zeit einen vorher eingestellten Schwellenwert überschreitet. Wenn das Tor so eingestellt ist, daß Signale zwischen 12 und 15 Mikrosekunden auf der Abszisse durchgelassen werden, und wenn die Auschlagschwelle auf die Linie 1 der Koordinate eingestellt ist, dann ist das Vorhandensein von Wasser in einem Brennelement mit oder ohne Federn feststellbar.

Im Betrieb wird das Prüfgerät in den Zwischenraum zwischen benachbarten Teilen des Brennbündels eingeführt. Bestrahlte Brennbündel werden für Kühl- und Abschirmzwecke während des Ausbaus aus einem Reaktor im allgemeinen unter Wasser gehalten und zunächst in einem Becken für verbrauchten Brennstoff gelagert. Infolgedessen muß auch die Prüfung der Brennelemente unter Wasser durchgeführt werden. Der Geber wird quer zur Längsachse des zu prüfenden Brennelements ausgerichtet. Ein Impuls wird dann von dem Geber in das Brennelement gesendet.

Ein Brennbündel kann durch Einführung des Prüfgeräts in das Brennelementbündel geprüft werden, ohne daß irgendwelche Teile ausgebaut werden. Somit ist es für Prüfzwecke nur notwendig, daß das Bündel aus dem Reaktor ausgebaut wird.

Das Verfahren kann auch auf die Verwendung von Mehrfachgebern ausgedehnt werden, um alle Brennelemente eines Brennbündels automatisch und schnell zu prüfen.

13  
Leerseite

Nummer: 28 02 639  
Int. Cl.<sup>2</sup>: G 21 C 17/06  
Anmeldetag: 21. Januar 1978  
Offenlegungstag: 9. November 1978

- 15 -  
2802639

FIG. 1

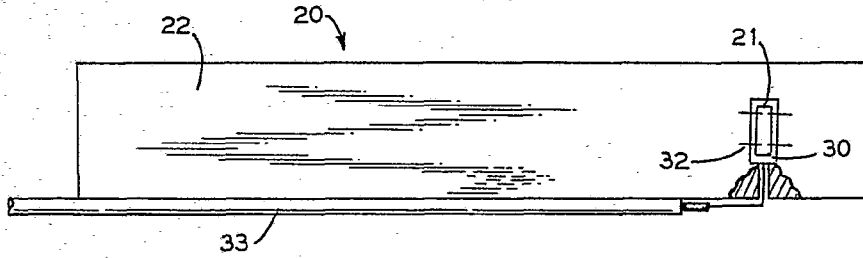


FIG. 2

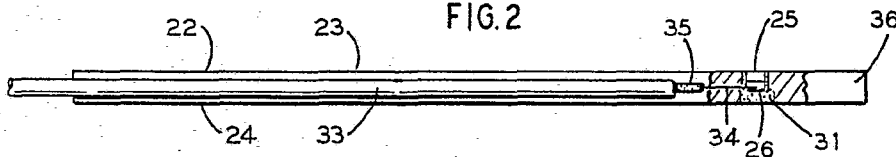


FIG. 3

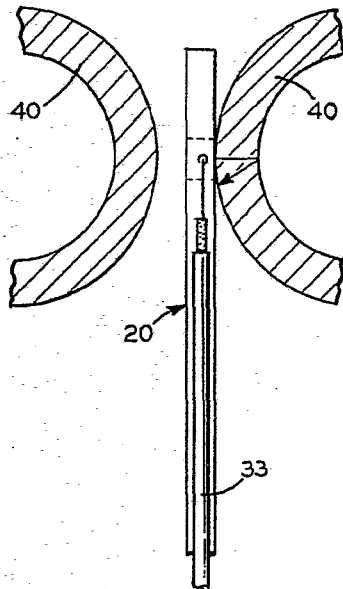


FIG. 5

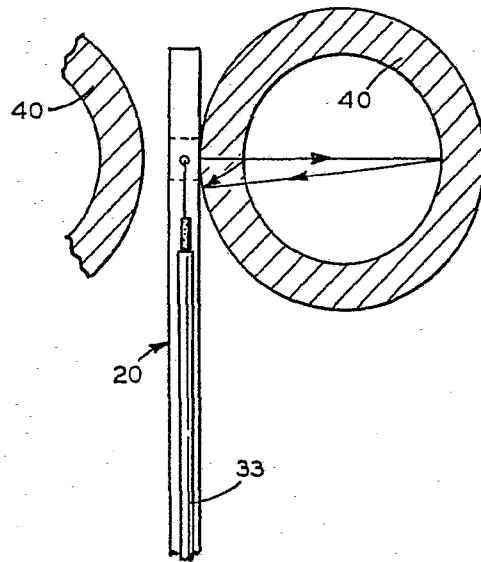


FIG. 4

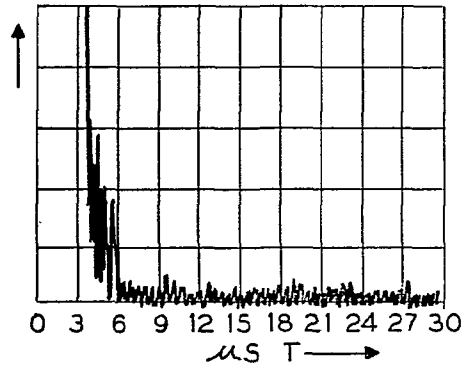


FIG. 6

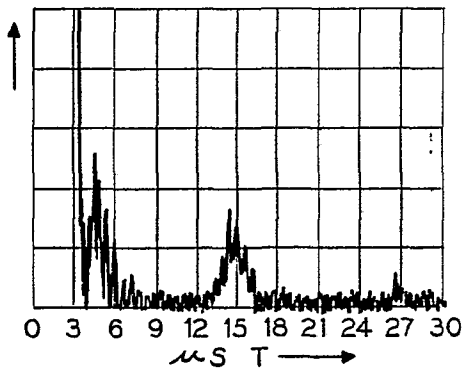


FIG. 7

