

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**2 727 464**

②1 N° d'enregistrement national : **94 14291**

⑤1 Int Cl<sup>®</sup> : E 21 B 47/00, G 01 R 3/00//G 01 V 3/20

⑫

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

**A1**

②2 Date de dépôt : 29.11.94.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : 31.05.96 Bulletin 96/22.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de  
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du  
présent fascicule.*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux  
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : SERVICES PETROLIERS  
SCHLUMBERGER SA SOCIETE ANONYME — FR.

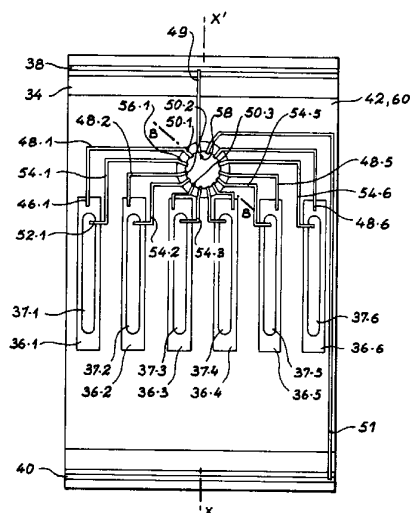
⑦2 Inventeur(s) : SAENGER RICHARD GERARD.

⑦3 Titulaire(s) :

⑦4 Mandataire : SOCIETE DE PROTECTION DES  
INVENTIONS.

### ⑤4 CAPTEUR DE DIAGRAPHIE ELECTRIQUE ET SON PROCEDE DE REALISATION.

⑤7 L'invention a pour objet un élément de capteur adapté à l'emploi dans un forage, dont la surface extérieure comporte des parties conductrices et des parties isolantes réparties selon un dessin déterminé, caractérisé en ce que les parties conductrices et les parties isolantes sont formées respectivement d'un matériau dur, électriquement conducteur et d'un matériau dur, électriquement isolant, chacun de ces matériaux étant déposé sous forme de couche (42; 36-1,... 36-6; 37-1,... 37-6; 60).



**FR 2 727 464 - A1**



## CAPTEUR DE DIAGRAPHIE ELECTRIQUE ET SON PROCEDE DE REALISATION

### DESCRIPTION

#### 5 Domaine technique et art antérieur

La présente invention se rapporte au domaine des outils de mesure pouvant être utilisés dans les équipements de recherche et de production pétrolières.

10 Plus spécifiquement, ce type d'activité nécessite, après forage d'un puits, d'y introduire des sondes ou capteurs, notamment électriques ou électromagnétiques à l'aide desquels on réalise des mesures permettant de caractériser entre autres, les fluides présents dans les terrains et des couches  
15 traversés par le forage ainsi que le pendage de ces couches.

Un exemple d'un capteur connu, du type à électrodes sur patin est donné schématiquement sur les figures 1a et 1b. Un tel capteur et son fonctionnement  
20 sont décrits par ailleurs dans le document EP-A-384 823. Les figures 1a et 1b représentent un patin 3 comportant un support en acier inox 7 recouvert d'une couche 8 d'un caoutchouc dur dans laquelle des électrodes 10-22 sont incorporées. La surface  
25 extérieure 11 de chaque électrode doit normalement être au même niveau que la surface extérieure 13 de la couche de caoutchouc, comme sur la figure 1b. Le patin est destiné à être maintenu, au cours de la mesure, contre la paroi de forage à l'aide d'un système de bras rétractable, articulé sur une sonde descendue dans le  
30 forage par un câble conducteur à une profondeur pouvant atteindre plusieurs kilomètres. En général, on injecte un courant d'analyse I dans les terrains traversés par des électrodes 16, 18, 20, 22 (figure 1a). L'électrode  
35 10 est une électrode de garde et elle permet d'injecter

un courant de focalisation. Les électrodes 12-1, 12-2 sont des électrodes de contrôle et les électrodes 14-1, 14-2 des électrodes de focalisation par lesquelles est injecté un autre courant de focalisation. Le  
5 fonctionnement détaillé de l'appareil est décrit dans le document cité ci-dessus.

Les conditions dans lesquelles un tel dispositif est amené à travailler peuvent être extrêmement rigoureuses : la température peut être  
10 élevée, (elle peut atteindre 175°C ou plus), les pressions rencontrées sont couramment de l'ordre de 700 à 1400 bars, et les matériaux peuvent être au contact de fluides agressifs (HCl, H<sub>2</sub>S, etc.).

Par ailleurs, les capteurs et leur  
15 environnement sont parfois soumis à des contraintes mécaniques très intenses. Ainsi, dans le cas de l'appareil décrit en liaison avec les figures 1a et 1b, la surface extérieure est maintenue en contact de frottement avec les parois du forage, et ceci sur des  
20 distances considérables. Après une seule utilisation, certaines surfaces peuvent présenter une usure de 1,5 mm de profondeur, alors que la reproductibilité de certaines mesures imposent une usure maximum tolérable de l'ordre de 0,2 mm.

25 En outre, ces contraintes mécaniques et ces frottements peuvent occasionner des déformations du capteur. Pratiquement, comme illustré sur la figure 1b, il n'est pas rare qu'après une seule utilisation, une électrode, telle que l'électrode 10 soit déformée au  
30 point que sa surface extérieure 11 fasse saillie par rapport à la surface 13 (l'électrode déformée est représentée en tirets). Il est alors clair que la seule solution est de changer entièrement le capteur ce qui est extrêmement coûteux.

Toutes ces conditions (thermiques, mécaniques) influencent évidemment le signal ou la réponse des capteurs, quels qu'ils soient.

En outre, il peut se produire un autre  
5 phénomène qui, s'il ne correspond pas à une usure proprement dite du capteur, n'en est pas moins préjudiciable pour les mesures. Si on prend l'exemple d'un capteur résistif comme celui de la figure 1a, on obtient des diagraphies de résistivité, telles que  
10 celle illustrée sur la figure 2. Aux variations liées à la nature des couches traversées, illustrées par la courbe 31, se superposent des pics 26, 28, 30, 32 parasites, plus couramment appelés "spikes" en terminologie anglo-saxonne. L'origine de ces spikes est  
15 liée à des particules ou des amas de matière provenant des terrains traversés, qui s'accrochent à la surface active du capteur (ici, l'électrode 10). Lorsqu'ils se décrochent de cette surface, une brusque variation de conductivité de l'électrode se produit, à laquelle le  
20 capteur répond, et ceci conduit à l'apparition des "spikes" parasites. Ce phénomène est lié à l'état et à la nature de la surface des capteurs et à l'arrachage de la couche de passivation.

Un autre type connu de capteur résistif, du  
25 type dit "sur mandrin", est représenté schématiquement sur les figures 3a et 3b. Ce capteur et son fonctionnement sont par ailleurs décrits dans le document EP-A-544 583. La figure 3a est une vue de côté du capteur, la figure 3b étant une demi-coupe selon  
30 AA'. La référence 21 désigne une demi-coquille constituée d'un substrat métallique 23, de forme cylindrique, d'un revêtement en caoutchouc 25 dans lequel sont incorporées des électrodes azimutales 27-1, ... 27-6 d'injection de courant et des électrodes  
35 azimutales de contrôle 29-1, ... 29-6 situées au centre

des électrodes 27 et isolées de ces dernières. D'autres électrodes de contrôle 33, 35 sont disposées aux extrémités de l'appareil. La connexion des électrodes aux alimentations électriques est assurée par des fils 5 qui passent dans la masse de caoutchouc 25, qui rejoignent une embase 39 soudée sur la face intérieure du substrat 23, l'embase étant prolongée par un connecteur 41 étanche à l'eau et au gaz.

En cours d'utilisation, ce capteur est inséré 10 dans une sonde tubulaire descendue dans un forage au bout d'un câble et maintenue centrée dans ce forage.

Ce capteur est destiné à être utilisé dans un milieu où la température peut être élevée (jusqu'à 175°C) et la pression très importante (jusqu'à 15 1400 bars). De plus, les surfaces extérieures sont en contact avec des fluides agressifs (HCl, H<sub>2</sub>S,... etc). Il importe donc, tout comme pour le premier type exposé ci-dessus, que lesdites surfaces puissent résister à de telles conditions, ce qui n'est pas toujours le cas des 20 capteurs connus.

Enfin, la réalisation de ces capteurs est délicate et coûteuse, dans la mesure où ils mettent en jeu de nombreux composants : un substrat, des électrodes, une embase qui doit être soudée, un 25 connecteur, des enveloppes de caoutchouc, et des isolants.

#### Exposé de l'invention

Pour répondre à ces inconvénients, la présente 30 invention a pour objet un élément de capteur adapté à l'emploi dans un forage, dont la surface extérieure comporte des parties conductrices et des parties isolantes réparties selon un dessin déterminé, caractérisé en ce que les parties conductrices et les 35 parties isolantes sont formées respectivement d'un

matériau dur, électriquement conducteur et d'un matériau dur, électriquement isolant, chacun de ces matériaux étant déposé sous forme de couche.

Selon un mode particulier de réalisation, les  
5 couches sont déposées sur un substrat ayant la forme d'un secteur de cylindre. Ce dernier peut avoir par exemple une ouverture angulaire de l'ordre de 72° ou être un demi-cylindre.

Selon un mode particulier, le substrat est un  
10 substrat métallique.

Un autre objet de l'invention est un capteur de mesure électrique, comportant :

- un support métallique comportant une surface extérieure et une surface intérieure,
- 15 - une première couche d'un matériau dur, électriquement isolant, déposée sur la surface extérieure du support,
- une couche d'un matériau dur, électriquement conducteur, déposée sur une partie de la première  
20 couche et définissant une ou plusieurs électrodes,
- au moins une connexion électrique disposée à l'intérieur ou contre la surface intérieure du support métallique,
- des éléments de liaison électrique déposés sur la  
25 première couche, ayant chacun une première extrémité reliée à une électrode et une deuxième extrémité reliée à une des connexions,
- une deuxième couche d'un matériau dur, électriquement isolant, recouvrant au moins certains éléments de  
30 liaison électrique.

En outre, selon un aspect particulier de l'invention, l'appareil peut comporter une couche d'un matériau d'accrochage de la première couche de matériau dur et isolant, comprise entre cette dernière et le  
35 support métallique.

La couche d'accrochage peut être soit en MCrAlY où M est un métal, soit en NiAl, soit en molybdène.

Le matériau dur et isolant peut être choisi parmi les oxydes  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  et  $\text{B}_2\text{O}_3$ .

Le matériau dur et conducteur peut être du type carbure, constitué d'un matériau de base choisi parmi  $\text{B}_4\text{C}$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{Be}_2\text{C}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{WC}$ ,  $\text{TaC}$ ,  $\text{NbC}$ ,  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ,  $\text{b-MO}_2\text{C}$ ,  $\text{h-MOC}$ ,  $\text{VC}$ ,  $\text{HfC}$ ,  $\text{ZrC}$ , ledit matériau étant dopé avec du cobalt ou du nickel ou un mélange ternaire nickel-chrome-molybdène (NiCrMo).

Par ailleurs, un procédé de fabrication d'un appareil selon l'invention comprend les étapes suivantes :

- 15 - une étape de dépôt, sur la surface extérieure d'un support métallique, d'une première couche d'un matériau dur, électriquement isolant,
- une étape de dépôt d'une couche d'un matériau dur, électriquement conducteur, sur une partie de la première couche, définissant ainsi une ou plusieurs électrodes,
- 20 - une étape de formation d'au moins une connexion électrique à l'intérieur ou contre la surface intérieure du support métallique,
- 25 - une étape de dépôt, sur la première couche, d'éléments de liaison électrique, une première extrémité de chaque élément conducteur étant reliée à une électrode et une deuxième extrémité étant reliée à une des connexions,
- 30 - une étape de dépôt d'une deuxième couche d'un matériau dur, électriquement isolant, sur au moins certains éléments de liaison électrique.

D'autres aspects de l'invention apparaissent dans les revendications dépendantes.

Brève description des figures

- De toute façon, les caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront mieux à la lumière de la description qui va suivre. Cette
- 5 description porte sur les exemples de réalisation, donnés à titre explicatif et non limitatif, en se référant à des dessins annexés sur lesquels :
- les figures 1a et 1b, déjà décrites, représentent un capteur de mesure électrique selon
  - 10 l'art antérieur,
  - la figure 2 est un exemple de diagraphie de résistivité obtenu avec un capteur selon l'art antérieur,
  - les figures 3a et 3b représentent un autre
  - 15 capteur de mesure, selon l'art antérieur,
  - les figures 4a et 4b représentent un capteur selon l'invention,
  - les figures 5 et 6 représentent des
  - 20 éprouvettes pour tester les propriétés mécaniques de substrats recouverts par des revêtement utilisés dans la présente invention,
  - les figures 7a et 7b illustrent une caractérisation des revêtement utilisés en terme d'impédance de contact,
  - 25 - la figure 8 représente l'évolution de l'impédance de contact d'un revêtement CW(Co) en fonction du pourcentage de cobalt, pour deux fréquences différentes,
  - les figures 9a à 9d illustrent des étapes
  - 30 d'un procédé de réalisation d'un capteur selon l'invention,
  - les figures 10a à 10e illustrent des étapes d'un autre procédé de réalisation d'un capteur selon l'invention,



- la figure 11 est une comparaison du bruit obtenu avec un appareil selon la présente invention et avec un capteur selon l'art antérieur,
- la figure 12 représente une connexion  
5 utilisée avec un capteur selon la présente invention,
- les figures 13a à 15 illustrent divers procédés de réalisation d'une connexion,
- les figures 16 à 17b représentent d'autres connexions qui peuvent être utilisées avec un capteur  
10 selon l'invention.

Description détaillée de modes de réalisation de l'invention

15 Un premier exemple de réalisation d'un capteur selon l'invention, destiné à être utilisé dans un appareil du type de celui décrit dans le document EP-A-544 583, est représenté sur les figure 4a et 4b. La figure 4a est une vue de côté de l'appareil, la figure 4b en représente une moitié, vue en perspective.

20 Le capteur, ou l'élément de capteur représenté, présente une surface extérieure constituée d'une part de portions conductrices 36-1,... 36-6, 37-1,... 37-6 et de parties isolantes 42 qui sont formées respectivement d'un matériau dur, électriquement  
25 conducteur, et d'un matériau dur, électriquement isolant, ces matériaux étant déposés sous forme de couches.

Les couches sont de préférence déposées sur un substrat ayant la forme d'un secteur de cylindre. Dans  
30 le cas d'un élément de capteur tel que celui de la figure 4a, le secteur de cylindre est en fait un demi-cylindre, un capteur résultant alors de l'association de deux éléments de capteur.

Un élément de capteur selon l'invention, du  
35 type de celui illustré sur les figures 1a et 1b peut,

de la même manière, présenter une surface extérieure constituée de portions conductrices et de portions isolantes formées de matériaux respectivement dur, électriquement conducteur et dur, électriquement isolant. Les parties conductrices et isolantes sont alors réparties suivant un dessin déterminé, différent de celui de la figure 4a et correspondant à celui de la figure 1b. Dans ce cas, en outre, le secteur de cylindre a une ouverture de l'ordre de 72°.

De façon plus détaillée, l'élément de capteur de la figure 4a comporte un support ou substrat 34 en métal, par exemple un acier inoxydable type 316-L, des électrodes 36-1, 36-2, ..., 36-6, d'injection de courant et des électrodes de contrôle 37-1, ... 37-6, présentant une forme allongée parallèlement à un axe de symétrie cylindrique XX' du support métallique 34, et isolées des électrodes d'injection de courant. Deux électrodes annulaires 38, 40 de contrôle sont disposées autour du support 34.

Comme il apparaît sur la figure 4b, le support 34 est revêtu d'une première couche 42 d'un matériau dur, isolant électriquement. Les électrodes 36, 37 sont définies par dépôt, sur une partie de cette première couche, d'une couche d'un matériau dur, électriquement conducteur. Des moyens de connexion constitués par des plots 46-1, 46-2, ... 46-6 et 50-1, 50-2, ... 50-6 de connexion, et par des éléments de liaison électrique 48-1, ... 48-6 permettent de relier les électrodes d'injection de courant 36-1, ... 36-6, à une alimentation extérieure de courant, non représentée, via des moyens de connexion 58 (appelés par la suite "connexion") disposés à l'intérieur ou contre la surface intérieure du support 34 et qui seront décrits plus loin en détail. Une seule connexion a été représentée sur la figure 4a. Mais il est possible de

prévoir un appareil tel que certaines électrodes soient reliées à une première connexion et que d'autres électrodes soient reliées à une seconde connexion. De même, les électrodes de contrôle 37-1,... 37-6 sont  
5 reliées à des sorties électriques ou à des moyens de mesure de tension non représentés par des moyens de connexion 52-1,... 52-6 ; 54-1,... 54-6 ; 56-1,..., 56-6.

Les éléments de liaison électrique tels que les  
10 éléments 48 peuvent être des pistes conductrices, par exemple en nickel ou en cuivre, du type de celles employées dans la technologie des circuits imprimés. Les éléments 48 peuvent aussi être des fils électriques.

15 Des pistes conductrices 49, 51 relient les électrodes de contrôle 38, 40 à des moyens de mesure de tension via la connexion 58.

Une seconde couche 60 d'un matériau dur, électriquement isolant recouvre l'ensemble, excepté les  
20 zones correspondant aux électrodes (36-1,... 36-6, 37-1, ... 37-6). Alternativement, cette seconde couche 60 peut avoir une extension limitée, de façon à ne recouvrir que les éléments de liaison électrique 48-1,... 48-6, 54-1,... 54-6 en débordant légèrement de  
25 part et d'autre de ces éléments.

Les matériaux des couches 42, 60 peuvent être choisis parmi des oxydes tels que  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  qui présentent de très bonnes propriétés de dureté et de résistance à la corrosion et  
30 à l'usure.

Le matériau constitutif des zones conductrices 36, 37 peut être du type carbure ( $\text{B}_4\text{C}$ ,  $\text{SiC}$ ,  $\text{Be}_2\text{C}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{WC}$ ,  $\text{TaC}$ ,  $\text{NbC}$ ,  $\text{Cr}_3\text{C}_2$ ,  $\text{b-MO}_2\text{C}$ ,  $\text{h-MoC}$ ,  $\text{VC}$ ,  $\text{HfC}$ ,  $\text{ZrC}$ ), éventuellement dopés avec, par exemple, du cobalt, du

nickel, du chrome ou un mélange ternaire tel que nickel-chrome-molybdène (NiCrMo).

Afin de favoriser l'accrochage de la première couche 42 de matériau dur et isolant sur le substrat 34, il est possible de déposer, avant la couche 42 et directement sur le substrat 34, une couche d'accrochage 45 (représentée en traits interrompus sur la figure 5b) constituée d'un matériau tel que MCrAlY où M est un métal tel que du nickel (Ni), ou bien d'un matériau tel que NiAl ou bien du molybdène.

Cette couche d'accrochage permet en outre :

- de limiter une éventuelle différence de dilatation thermique entre le substrat 34 et le revêtement 42. A cette fin, on peut choisir un matériau ayant un coefficient de dilatation intermédiaire entre celui du substrat 34 et celui de la couche 42,
- de protéger le substrat contre une éventuelle corrosion (surtout dans le cas où la couche d'accrochage est en NiAl ou en MCrAlY).

Parmi les matériaux indiqués ci-dessus, le NiCrAlY est préférentiellement utilisé. En particulier, il a la propriété de développer un réseau céramique dans sa masse, lorsqu'il est dans des conditions d'oxydation. Ceci favorise l'accrochage des revêtements d'oxydes et/ou de carbure, en particulier dans des conditions d'atmosphère très corrosive.

Les différents matériaux sont choisis en fonction des contraintes imposées lors de l'utilisation de l'appareil, et notamment des contraintes mécaniques, thermiques et chimiques.

Différents paramètres permettent de caractériser plus précisément les propriétés mécaniques des substrats utilisés en combinaison avec les revêtements sélectionnés : dureté, coefficient de

dilatation thermique, charge de rupture, limite d'élasticité, coefficient d'extension en flexion, résistance à l'usure. Ces paramètres vont être détaillés ci-dessous.

- 5 D'abord, pour tous les matériaux dont la liste a été donnée ci-dessus, le tableau I donne la valeur de la dureté correspondante, en  $N/mm^2$ , ainsi que le coefficient de dilatation thermique.

10

TABLEAU I

MATERIAU	DURETE ( $N/mm^2$ )	COEFFICIENT DE DILATATION THERMIQUE ( $\times 10^{-6}/^{\circ}C$ )
Diamant	7600	0,9-1,18
$B_4C$	2940	6,0
SiC	2580	5,7
$Be_2C$	2690	7,4
TiC	3000	7,74
WC	2500	5,2-7,3
TaC	1800	6,29
NbC	2000	6,65
$Cr_3C_2$	1350	10,3
b- $Mo_2C$	1500	7,8
h-MoC	2200	7,8
VC	2900	7,2
HfC	2600	6,59
ZrC	2700	6,73
$Al_2O_3$	2100	6,2
$B_2O_3$	2100	6,2
$Cr_2O_3$	2900	9,6
$TiO_2$	1100	8,19
$ZrO_2$	1200	7,2

Des essais en traction ont été réalisés qui permettent de comparer les propriétés en traction d'un acier (acier inoxydable de type 316L) sans aucune couche de matériau dur et les propriétés du même acier  
 5 revêtu d'une couche de carbure de tungstène dopé au cobalt CW(Co) ou d'une couche de trioxyde de chrome  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

Des éprouvettes normalisées ont été utilisées, du type de celle illustrée sur la figure 5, où les  
 10 références 62 et 64 désignent respectivement le substrat en acier, la couche de carbure ou d'oxyde déposée.

Les valeurs suivantes des paramètres géométriques ont été utilisées :  $L=60\text{mm}$ ,  $H=12\text{mm}$ ,  $h=4\text{mm}$ ,  
 15  $R=4\text{mm}$ ,  $E=2,5\text{mm}$ ,  $e=250\mu\text{m}$  (+ couche d'accrochage NiCrAlY de  $50\mu\text{m}$ ).

Les tests ont été réalisés dans les conditions suivantes : charge de départ =  $1,8\text{N}$  ; vitesse linéaire =  $3\text{mm/mn}$ .

Les résultats obtenus sont rassemblés dans le  
 20 tableau II. On a comparé, pour les trois cas, les valeurs de la charge de rupture ( $R_m$  en MPa), de la limite d'élasticité  $R_p$  ( $0,2R_p$  en MPa) et du coefficient de dilatation A (en %). Pour chaque quantité, la valeur  
 25 en % entre parenthèse indique l'écart relatif par rapport à la même quantité mesurée dans le cas du substrat sans revêtement.

TABLEAU II

	$R_m$ (Mpa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	A (%)
316-L	578	267	53
316-L+CW(Co)	587 (+2-3%)	307 (+10-13%)	44 (-17-18%)
316-L+ $\text{Cr}_2\text{O}_3$	515 (-10%)	278 (+5%)	41,6 (-21%)

On voit d'après ces résultats que les revêtements ont pour effet de diviser l'élongation du substrat par un facteur de l'ordre de 1,2 et d'améliorer la limite d'élasticité du substrat. Dans le cas du revêtement en  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , la valeur de la charge de rupture est plus faible que dans le cas de l'absence de revêtement. Cependant, on peut conclure de ces valeurs que les qualités mécaniques d'ensemble de l'appareil sont améliorées par la présence d'un substrat.

Des essais normalisés (ENV 658-3/92) ont également été réalisés en flexion (essais 3 points), sur des éprouvettes telles que celle représentée sur la figure 6, les références 66 et 68 désignant respectivement le substrat en acier et la couche de carbure ou d'oxyde déposée.

Les paramètres géométriques suivants ont été utilisés :  $L=60\text{mm}$ ,  $l=10\text{mm}$ ,  $E=2,5\text{mm}$ ,  $e=250\mu\text{m}$  (+ couche d'accrochage NiCrAlY de  $50\mu\text{m}$ ),  $d=50,05\text{mm}$ ,  $\varnothing=20\text{mm}$ .

4 substrats 66 de nature différente ont été utilisés (acier Abramax, acier inoxydable 316L, Aluminium, cuivre). Le tableau III donne, pour chacun, avec deux revêtements différents (CW(Co) et  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) la valeur de l'extension  $\sigma$  (en mm) avant l'apparition des fissures ainsi que le coefficient d'extension  $A=d/l$ , également avant l'apparition des fissures.

TABLEAU III

Substrat	$\sigma$ (mm)		A (%)	
	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	CW (Co)	$\text{Cr}_2\text{O}_3$	CW (Co)
ABRAMAX	4,3	5,3	14	18
INOX 316-L	3,5	3,2	12	11
ALUMINIUM	4,5	3,6	15	13
CUIVRE	2,9	2,35	10	8

Des tests d'usure ont également été réalisés. Les tests permettent de comparer la résistance à l'usure de trois types de revêtements soumis à la friction d'une sphère d'aluminium.

- 5            3 types d'échantillons ont été utilisés : un acier ABRAMAX (ou "Creusabro 32") sans revêtement et avec revêtement de CW(Co) et de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

Les conditions du test étaient les suivantes : charge=75N, fréquence=0,5Hz, nombre de cycles=2000.

- 10           Les résultats sont assemblés dans le tableau IV.

- 15           Dans la première colonne, on a porté la rugosité finale  $R_a$  (en  $\mu\text{m}$ ) ; dans la seconde et la troisième, les coefficients de friction au départ et en moyenne au cours du test ; dans la quatrième colonne, on trouve le volume usé (en  $\text{mm}^3$ ) ; dans la cinquième, le taux d'usure (en  $\text{mm}^3/\text{Nm}$ ), dans la sixième, l'usure (en mg) de la sphère d'alumine.



TABLEAU IV

MATERIAU	R <sub>a</sub> (µm)	FRICITION INITIALE	FRICITION MOYENNE	VOLUME USE (mm <sup>3</sup> )	TAUX D'USURE (mm <sup>3</sup> /Nm)	USURE DE LA SPHERE (cm)
ABRAMAX	1-1,2	0,24-0,27	0,64-0,72	7,4-11,8	82.10 <sup>-5</sup> - 131.10 <sup>-5</sup>	0,4-5,9
ABRAMAX+CW (Co)	14-16	0,36-0,38	0,46-0,47	0,25-0,5	3.10 <sup>-5</sup> - 6.10 <sup>-5</sup>	1,7-2,5
ABRAMAX+Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> {	4-4,6	0,5-0,82	0,52-0,73	0,8-2,9	8.10 <sup>-5</sup> - 32.10 <sup>-5</sup>	0,1-0,3
	4-4,6	0,59-0,65	0,56-0,63	0,5	6.10 <sup>-5</sup>	0,1-0,3

Les échantillons montrent que deux types d'usure prédominent : l'usure abrasive et l'usure adhésive. La première se manifeste sous la forme de particules extraites et de stries, la seconde sous la forme de transfert de matière.

Le tableau IV montre le gain obtenu lorsque l'on passe d'un substrat sans revêtement à un substrat avec un revêtement, que ce soit en terme de rugosité finale, de volume usé, de taux d'usure ou d'usure de la sphère.

En ce qui concerne la "résistance" chimique des revêtements, celle-ci a été testée sur des revêtement  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  et  $\text{CW}(\text{Co})$ .

4 substrats différents (cuivre, acier ABRAMAX, acier inoxydable 316-L, aluminium) avec chacun un revêtement de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  et un revêtement de  $\text{CW}(\text{Co})$  ont été testés. Les tests ont été réalisés dans une solution saturée de  $\text{NaCl}$  (300g/l), avec une pression initiale de 4 bars de  $\text{H}_2\text{S}$  à température ambiante, suivie d'une addition de 40 bars de  $\text{CO}_2$  à température ambiante, d'un équilibrage de température à  $160^\circ\text{C}$  et d'un ajustement de pression à 100 bars avec de l'azote, la durée totale de chaque test étant de 100 heures. Dans tous les cas, une bonne résistance des deux types de revêtement a été constatée.

Par ailleurs, tous les revêtements testés présentent une bonne résistance à une solution acide  $\text{HCl}$  dans des conditions qu'il est possible de rencontrer dans les forages ( $<15\%$   $\text{HCl}$ ).

Enfin, l'impédance de contact de différents revêtements a été mesurée. Les parties servant d'électrodes (références 36 et 37 sur les figure 4a et 4b) doivent en effet présenter une faible impédance de

contact dans le but d'effectuer des mesures de résistivité correctes.

L'appareil pour réaliser ces tests est illustré schématiquement sur la figure 7a. La forme  
5 rectangulaire du bain d'électrolyte 86 favorise les lignes de courant rectilignes et il est ainsi possible de connaître les lignes équipotentiellles (qui sont perpendiculaires aux lignes de courant). Les références  
10 70, 76, 78 désignent respectivement l'électrode d'essai, l'électrode de référence et la contre-électrode. La solution 86 est une solution électrolytique de NaCl à 100g/l ( $T=298K$ ). Comme illustré sur la figure 7b, chaque électrode d'essai 70 ( $2,8 \times 3,3 \text{ cm}^2$ ) supporte une cellule active 80 ( $1,3 \times 2 \text{ cm}^2$ ),  
15 elle-même constituée d'un substrat 88, d'une couche d'accrochage 82 en NiCrAlY (épaisseur=50 $\mu\text{m}$ ) et d'une couche de céramique 84 (CW(Co) ou CW(Ni) ou CW(NiCrMo), d'épaisseur 200 à 500 $\mu\text{m}$ ).

Les trois électrodes 70, 76, 78 sont couplées à  
20 une interface électrochimique 72 et à un analyseur de fréquence 74.

Les tests ont été réalisés avec du carbure de tungstène (CW) et différents dopages de cobalt, de nickel, ou du type Ni+réfractaire (par exemple NiCrMo).  
25 Les tests pour le dopage en cobalt ont été réalisés avec une électrode de référence en acier inoxydable 316-L, les autres avec une électrode de référence en platine. Des tests complémentaires avec une électrode de référence en platine pour un dopage au cobalt à 12% et 100% ont permis de constater que le choix de  
30 l'électrode de référence ne modifie pas le résultat.

Les impédances de contact pour différents dopages et deux fréquences de travail (10Hz et 100Hz) sont rassemblés dans le tableau V.

TABLEAU V

	IMPEDANCE DE CONTACT ( $\Omega \cdot \text{cm}^2$ )	
	10Hz	100Hz
CW+12%Co	20	10
CW+17%Co	30	15
CW+20%Co	35	15
CW+100%Co	95	35
CW+17%Ni	30	15
CW+NiCrMo	25	10

5 La figure 8 représente l'évolution de  
l'impédance de contact, pour deux fréquences  
différentes (courbe A:10Hz, courbe B:100Hz), en  
fonction du pourcentage de cobalt dans le carbure de  
tungstène. Cette figure montre l'intérêt de travailler  
10 préférentiellement à moins de 20% en masse de cobalt.

L'impédance de contact est la même pour un  
pourcentage de dopant identique, que ce dernier soit du  
cobalt ou du nickel.

15 Par ailleurs, le revêtement CW(NiCrMo) présente  
l'impédance de contact la plus faible au-dessus de  
10Hz.

Il est donc clair, au vu de toutes les  
propriétés qui viennent d'être décrites, que :

- 20 - la combinaison des substrats et des revêtements  
sélectionnés répondent bien aux exigences qui peuvent  
être posées en vue d'utilisations dans des forages,  
où les contraintes mécaniques, chimiques et  
thermiques peuvent être importantes,
- 25 - l'homme du métier saura choisir les revêtement  
appropriés en fonction de ces contraintes mécaniques,

chimiques ou thermiques, ou mettre en oeuvre les différents tests nécessaires à ce choix. De même, il peut sélectionner le revêtement souhaité pour obtenir une valeur donnée de l'impédance de contact à une

5 fréquence donnée.

Des techniques de dépôt pour former les différentes couches de matériau vont maintenant être décrites.

10 Une première technique est la technique de dépôt par vapeur chimique (CVD). Elle comprend également ses variantes telles que le dépôt en vapeur chimique renforcé par plasma (PEVCD), le dépôt de vapeur chimique à basse pression (LPCVD), le dépôt

15 photoassisté (PCVD) ou assisté par laser (LCVD). L'intérêt de cette technique réside dans la possibilité de produire des couches uniformes, compactes, et fortement adhérentes. A basse température et à haute concentration, il est possible de produire des

20 revêtements fins ou amorphes. Le désavantage de cette technique est la nécessité de travailler à haute température (700-1000°C), ce qui peut entraîner un endommagement du substrat ou développer dans ce dernier des propriétés mécaniques indésirables.

25 Une autre technique est la technique de dépôt en phase vapeur (PVD). Cette technique met en oeuvre les étapes suivantes :

- transformation à l'état gazeux du matériau pour le revêtement,
- 30 - transport de la vapeur obtenue vers le substrat,
- condensation de la vapeur sur la surface du substrat pour former le dépôt.

Des procédés hybrides, combinant des procédés chimiques et physiques de formation de dépôt solide,

35 peuvent être utilisés pour préparer des revêtements

durs et résistant à l'usure, tels que ceux décrits ci-dessus.

Un autre procédé est le procédé de dépôt par laser. Ce procédé met en oeuvre un faisceau laser, qui  
5 fournit l'énergie d'activation nécessaire pour une réaction chimique. Le faisceau laser peut également être utilisé en combinaison avec le procédé CVD, comme source d'énergie extérieure. Il est alors possible de déposer des structures fines avec une grande précision.

10 Un autre procédé est le procédé sol-gel. Selon ce procédé, on forme une solution des éléments qu'on veut déposer dans un solvant organique, la solution est ensuite polymérisée pour former un gel qu'on applique avec la forme voulue, sur le substrat. Le gel est  
15 finalement séché et recuit pour éliminer le solvant organique, afin de former la phase solide finale désirée.

Une autre technique est la technique d'implantation d'ions. Cette technique extrêmement  
20 efficace pour le traitement des surfaces emploie des ions à haute énergie pour modifier les propriétés ou la composition d'une surface. Les ions d'une source d'ions déterminée sont accélérés (avec une tension de 10 à 100kV) et bombardés sur une cible qui peut être mise en  
25 rotation pour obtenir un revêtement uniforme. On obtient ainsi des dépôts qui adhèrent fortement au substrat et qui sont cohérents.

Enfin, on peut recourir à la technique de projection par plasma, à l'aide d'une torche à plasma.  
30 Cette technique présente les avantages suivants :

- un faible coût en comparaison des techniques déjà citées ci-dessus,
- une très bonne reproductibilité,
- une très bonne maîtrise des paramètres de tir,

- une plus grande rapidité que les techniques ci-dessus (environ 15 minutes par dépôt),

Selon cette technique, le matériau qu'on veut déposer est fondu et les gouttelettes résultantes sont  
5 projetées contre le substrat à grande vitesse (de l'ordre de 300 m/s). Ce dernier est généralement maintenu à une température inférieure à 150°C. Ainsi, on peut obtenir des revêtements sur des substrats présentant une température de fusion basse (alliage  
10 d'aluminium, acier inoxydable, plastique). Par contre, la température est extrêmement élevée à la sortie de la torche à plasma (typiquement de l'ordre de 7 à 10 000°C), ce qui signifie qu'il faut utiliser des poudres présentant des points de fusion élevés. Le  
15 plasma est formé à l'aide d'un gaz tel que l'argon, l'hélium, l'azote ou l'oxygène ou leurs mélanges. L'avantage de l'argon est qu'il est facilement ionisable et qu'il permet de produire un plasma plus stable à des tensions de fonctionnement de la torche de  
20 l'ordre de 70 volts. Les grains de matière, injectés à l'extrémité de la torche, sont fondus en gouttelettes qui, par impact sur le substrat, prennent la forme de disques ou de lamelles. L'impact est exothermique. La densité de la couche déposée croît avec la fluidité des  
25 gouttelettes et avec leur vitesse d'impact. Selon cette technique, des films de haute qualité de métaux ou d'alliages peuvent être déposés rapidement, et à des coûts très bas. Cette méthode est particulièrement bien adaptée pour le dépôt de matériaux durs, isolants ou  
30 conducteurs électriques, dont il est question dans la présente invention. L'appareillage décrit dans la demande de brevet EP-A-0 580 097 publiée le 26 JANVIER 1994 peut être utilisé pour la mise en oeuvre de la méthode.

D'une façon générale, la fabrication d'un capteur selon l'invention mettra par exemple en oeuvre différentes étapes de projection plasma des matériaux durs et isolants et des matériaux durs et conducteurs, par exemple sur un support ou substrat en forme de secteur de cylindre. Un dessin prédéterminé de la répartition des parties conductrices et isolantes sera réalisé par masquages successifs, par exemple à l'aide de masques métalliques.

10 La fabrication détaillée d'un élément de capteur tel que celui illustré sur les figures 4a et 4b va maintenant être décrite en liaison avec les figures 9a à 9d. Des références identiques à celles des figures 4a et 4b y désignent les mêmes éléments.

15 La première étape consiste à choisir un substrat adapté, en l'espèce un demi-tube 34 en acier inoxydable faiblement magnétisable, par exemple du type 316-L. Ce substrat est usiné de manière à pouvoir adapter la connexion 58 désirée (les connexions sont  
20 décrites plus loin). Il est dégraissé par trichloréthylène en phase vapeur et il subit ensuite un sablage corindon (grains 30), à une pression de 2 bars.

Dans une seconde étape, on dépose une couche 45 d'accrochage en NiCrAlY, d'épaisseur environ 50µm, par  
25 projection plasma.

Dans une troisième étape, on dépose (par projection plasma) une couche 42 d' $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  (97%-3%) sur une épaisseur d'environ 250µm, sur toute la pièce, sauf dans les deux zones de raccordement des électrodes  
30 à la masse (figure 9a, référence 90 et 92).

Ensuite, dans une quatrième étape (figure 9b), on monte un masque métallique découpé permettant de projeter le "circuit imprimé" qui forme les moyens de connexion 48-1, ... 48-6, 54-1,...54-6, 49, 51. On  
35 projette alors le circuit imprimé en nickel (ou cuivre



ou aluminium), sur une épaisseur d'environ 150µm. Chacune des deux extrémités 46-1,... 46-6, 50-1,...50-6, 52-1,... 52-6, 56-1,... 56-6 de chaque élément du circuit imprimé est ensuite masquée (voir figure 9c) et on projette une couche d' $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$  d'épaisseur 400µm.

Puis, on procède au masquage partiel de la surface, afin de projeter des électrodes en carbure de tungstène (CW) dopé à 17% de Co, d'épaisseur environ 200µm. Ces électrodes portent les références 37-1,... 37-6 et 36-1,... 36-6 sur la figure 9d.

On procède ensuite à un rainurage au centre de chaque extrémité du circuit imprimé, du côté de la connexion 58, sur une largeur de 0,2mm. Les fils de nickel ou de cuivre de diamètre 0,2 mm sont montés dans les rainures. Les intervalles entre les connexions sont masqués. Puis, on colle les fils sur la connexion par projection de nickel, sur une épaisseur d'environ 150µm. On isole les zones de la connexion par projection de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , sur une épaisseur d'environ 300µm.

Un traitement final permet de réduire la porosité des couches les plus extérieures. Ce traitement peut consister en :

- une surfusion de la surface extérieure par une torche ou par laser,
- sur les zones conductrices, un enrobage après dépôt de la couche, par du cobalt, du nickel ou de l'aluminium,
- sur les zones isolantes, un enrobage par une résine phénolique sous vide, après passage en pression (1450 bars) dans l'eau ou tout autre liquide neutre pour briser les parois intergranulaires qui doivent résister à une pression inférieure ou égale à 1450 bars.

Dans le procédé ci-dessus, toutes les couches ont été déposées par projection plasma à l'aide d'une torche plasma, et, à chaque étape, on peut contrôler l'aspect et l'épaisseur des dépôts effectuées. De même, on peut aisément contrôler l'isolation (respectivement la conductivité) des couches isolantes (respectivement conductrices) déposées.

Ce procédé met en oeuvre d'une part les techniques de masquage classiques utilisées dans le domaine des circuits imprimés, et d'autre part, la technique de projection par plasma, qui est, en elle-même, bien maîtrisée et bon marché. Pour le masquage, on peut également utiliser les techniques du type "écran de soie", le masque étant constitué par un produit adhérent au substrat, qu'on enlève après projection. On obtient donc un capteur facile à fabriquer, à faible coût, et facilement reproductible. En outre, ainsi qu'on l'a déjà précisé ci-dessus, on peut adapter la nature des dépôts à la nature des terrains et des fluides avec lesquels l'appareil doit être en contact.

Le procédé de préparation a été décrit pour la réalisation d'un capteur tel que celui illustré sur les figures 4a, 4b. En fait, il est clair qu'on peut fabriquer des zones conductrices ayant toutes les formes possibles ; il suffit pour cela d'adapter la forme des masques au cours du procédé de réalisation. Ainsi, il est tout à fait possible de réaliser un appareil de mesure présentant la structure illustrée sur les figures 1a et 1b, avec une électrode centrale de garde 10 relativement large, et des électrodes 16, 18, 20, 22 d'injection du courant de mesure, de forme plutôt circulaire, disposées sur l'axe central, ainsi que des électrodes de focalisation 12, 14.

Le procédé qui a été décrit permet de déposer des couches de façon uniforme, sur une surface elle-même uniforme, préalablement nettoyée ou dégraissée.

Dans le cas où les particules constitutives du revêtement 42 sont projetées sur le substrat (par exemple par projection plasma) la liaison est essentiellement mécanique, les particules étant littéralement "accrochées" sur les aspérités de la surface de projection. Par conséquent, et préalablement au dépôt de la couche d'accrochage, le substrat peut avantageusement être décapé au jet de sable.

Un autre mode de fabrication va être maintenant décrit en liaison avec les figures 10a à 10e. La figure 10a présente une vue en perspective d'un demi-cylindre 94 qui sert de substrat aux différents dépôts (dépôt de matériau isolant, dépôt de matériau conducteur, piste de connexion). Avant de procéder à un quelconque dépôt, le substrat 94 est gravé, par exemple suivant les formes que l'on désire donner aux zones conductrices et/ou pistes de connexion. Ainsi, sur la figure 10b on a représenté une partie de la section du substrat selon le plan P de la figure 10a, dans la partie où sont déposées les pistes 96, 98, et avant dépôt des couches. Les références 100 et 102 désignent des zones gravées qui se prolongent parallèlement à l'axe XX' du cylindre. La gravure peut avoir une épaisseur e comprise entre quelques dizaines et quelques centaines de micromètres. Dans une seconde étape (figure 10c), on procède au dépôt d'une première couche 104, (c'est par exemple une couche d'un matériau isolant, dur, tel que un mélange  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ ). Ce dépôt peut être réalisé par une des techniques exposées ci-dessus, de préférence par projection plasma. On peut ainsi déposer une couche 104 ayant une épaisseur

comprise entre quelques dizaines et quelques centaines de micromètres. La surface extérieure de cette couche 104 a un relief présentant des vallées 106, 108 alignées sur les zones gravées 100, 102. Il est également possible de déposer, préalablement à la couche 104, une couche d'un matériau d'accrochage, ainsi qu'il a déjà été exposé ci-dessus. Au cours de l'étape suivante (figure 10d), on dépose une couche 110 d'un matériau dur, électriquement conducteur, tel que par exemple le carbure de tungstène dopé au cobalt. Cette couche 110 présente également des formes qui correspondent aux zones gravées 100, 102. L'étape suivante consiste, comme illustré sur la figure 10e, à effectuer une rectification de l'ensemble, pour ne laisser subsister les zones conductrices 96, 98 que dans les vallées 106, 108 définies par la couche 104. Par la suite, il est évidemment possible de déposer sur l'ensemble une couche uniforme d'un matériau dur et électriquement isolant. Cette variante, qui vient d'être décrite pour la réalisation des pistes conductrices de connexion peut être adaptée à la réalisation de zones conductrices similaires aux zones 36-1,... 36-6, 37-1,... 37-6 de la figure 4a. Elle peut être facilement combinée avec la technique de dépôt sélectif à l'aide de masques qui a été décrite ci-dessus.

Le capteur et le procédé pour le fabriquer, tels qu'ils ont été décrits ci-dessus dans leurs différentes variantes, présentent donc de multiples avantages par rapport aux appareils et aux procédés de l'art antérieur. Les revêtements permettent de conférer une grande résistance mécanique à l'ensemble de l'appareil et, notamment, il n'y a plus aucun risque que se produise un désoclage comme dans le cas illustré

sur la figure 1b. Les revêtements choisis présentent une bonne résistance chimique, et il est possible de moduler l'impédance de contact en fonction des dépôts effectués. Les procédés qui ont été présentés sont de mise en oeuvre aisée, ils sont facilement modulables (il est possible de faire varier la composition des couches déposées par mélange des poudres projetées lorsqu'on utilise la technique de projection pas plasma). Enfin, l'appareil obtenu présente beaucoup moins de composants différents, puisque l'appareil selon l'art antérieur nécessitait, comme on l'a déjà expliqué dans l'introduction, des électrodes, un revêtement en caoutchouc, et des connexions par fils. Ici, on a remplacé tous ces éléments par des couches qu'on peut déposer sur le substrat par une seule et même technique.

Enfin, il a été constaté qu'avec un appareil selon la présente invention, on peut réaliser des mesures présentant un rapport signal/bruit bien meilleures qu'avec les capteurs de l'art antérieur. Notamment, les parasites du type "spikes" sont beaucoup moins importants sur les diagrammes de conductivité obtenus avec un capteur selon l'invention. Il faut attribuer cela, sans doute, au fait que les dépôts de matériau dur, isolant ou conducteur, offrent des possibilités d'accrochage beaucoup moins importantes pour des particules ou des amas de matière provenant des terrains traversés, que les surfaces des électrodes en inox utilisées selon l'art antérieur. A ce sujet, un exemple comparatif est illustré sur la figure 12. Cette figure représente des mesures qui ont été effectuées d'une part avec un capteur selon l'art antérieur, tel que celui illustré sur la figure 4a et d'autre part avec un capteur selon la présente invention, tel que celui illustré sur les figures 4a et 4b, mettant en jeu

des dépôts de céramique. Pour chacune des électrodes (il y en a douze au total pour chaque capteur, 6 sur chaque demi-coquille, comme représenté sur la figure 4b) le signal est enregistré, traité, et on peut en déduire une estimation du bruit qui s'ajoute audit signal. Les deux capteurs ont été utilisés dans les mêmes conditions, pour un même forage, sur une même gamme de profondeurs (1310-1240m). La figure 11 représente d'une part la valeur du bruit pour chaque canal de l'électrode selon l'art antérieur (ce sont les points marqués par des croix sur la figure 11) et la valeur du bruit pour chaque canal de l'appareil selon la présente invention (qui sont repérés par des ronds sur la figure 11). On voit que, pour la plupart des électrodes, la valeur du bruit est plus faible pour le capteur selon l'invention que pour le capteur selon l'art antérieur. Avec l'invention, le rapport signal sur bruit a pu être amélioré d'un facteur 4.

Le capteur tel qu'il a été décrit selon la présente invention peut être utilisé en combinaison avec une connexion selon l'art antérieur. Une telle connexion est représenté schématiquement sur la figure 3b, où la référence 39 désigne une embase métallique soudée contre la face intérieure du substrat 23, cette embase métallique étant en général noyée dans un moulage en caoutchouc (non représenté sur la figure 3b) ; elle se prolonge par un connecteur 41 en inox. Pour utiliser ce type de connexion en combinaison avec la présente invention, il suffit de prolonger les pistes conductrices telles que les pistes 48-1,... 48-6, 54-1,... 54-6 (voir la figure 4b) et les plots correspondants 50-1,... 50-6, 56-1,... 56-6, par des fils qui traverseront le substrat par des trous préalablement formés à cet effet, les fils étant

ensuite recouvert par une couche d'un matériau dur et isolant, tel que par exemple  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$ , conformément à la présente invention. Ce type de connexion pose problème, puisqu'il nécessite une étape de soudure et  
5 une étape de moulage dans du caoutchouc, sur la face intérieure du substrat qui porte les électrodes du capteur.

Un nouveau type de connexion, utilisable en combinaison avec la présente invention, va être décrit  
10 en liaison avec les figures 12 à 14. La figure 12 représente une vue en perspective d'un support 114, sur lequel doivent être déposées les couches de matériau conducteur formant les électrodes et les pistes conductrices, la coupe étant réalisée au niveau de la  
15 connexion désignée par la référence 118. Le substrat 114, d'épaisseur  $e$  doit avoir préalablement été fraisé de façon à dégager un trou 116 en forme de tronc de cône. Les parois du tronc de cône forment avec la surface intérieure 120 du support un angle  $\alpha$ . La  
20 connexion est essentiellement constituée d'un tronc de cône 122 d'une hauteur  $h$  supérieure ou égale à l'épaisseur  $e$  du substrat 114 et d'angle au sommet sensiblement égal à  $2\alpha$ . Le cône a été préalablement usiné de façon à présenter un nombre  $N$  de rainures sur  
25 sa périphérie (sur la figure 12, on a représenté  $N=6$  rainures ; un nombre  $N$  différent de 6, par exemple  $N=12$  peut être choisi). Ces rainures sont désignées sur la figure 12 par les références 124-1, 124-2, 124-3, 124-4, 124-5, 124-6. Dans le cas où le matériau dont  
30 est constitué le cône 122 est un métal, par exemple de l'acier inox 316-L, chaque rainure 124- $n$  ( $n=1, \dots, 6$ ) est remplie par un ensemble constitué d'une première couche 126- $n$  d'un matériau isolant, d'un élément conducteur 128- $n$ , et d'une deuxième couche 130- $n$  d'un matériau  
35 isolant. A chacune des extrémité du tronc de cône des

fils conducteurs 132-n, 133-n sont brasés sur les éléments conducteurs 128-n. Ainsi qu'illustré sur la figure 12, lorsque la connexion 118 est insérée dans le substrat 114, les fils conducteurs 132-n servent à  
5 assurer la connexion électrique avec les pistes conductrices 134-1,..., 134-6 déposées sur la surface extérieure du substrat 114 (là encore, seules 6 pistes conductrices sont mentionnées ; il est tout à fait possible de choisir par exemple 12 ou 24 pistes  
10 conductrices, comme sur les figures 4a ou 4b). Les connexions 133-n servent à assurer la liaison électrique avec les alimentations ou les dispositifs de mesure qui sont contenus dans le train de tige à l'extrémité duquel l'appareil est situé.

15 Sur les figures 13a à 13d sont représentées les étapes d'un procédé pour déposer l'ensemble des éléments 126-1, 128-1, 130-1 dans une rainure 124-1. Dans une première étape (figure 13a) on dépose au fond et sur les bords de cette rainure 124-1 une couche 136  
20 d'un matériau isolant. Il est évidemment avantageux d'utiliser pour effectuer ce dépôt la même technique que celle qui est utilisée pour effectuer les dépôts des différentes couches à l'extérieur du substrat 114. Ainsi, si ces dernières sont déposées par projection  
25 plasma, la couche 136 peut être du  $Al_2O_3$  déposé par projection plasma. Dans la mesure où une couche 136 relativement uniforme a été déposée sur les côtés intérieurs de la rainure 124-1, la couche 136 conserve la forme de la rainure et on peut, dans une seconde  
30 étape (figure 13b) procéder au dépôt d'un matériau conducteur 138, par exemple par projection plasma. La troisième étape est une étape d'usinage (figure 13c) qui permet de ramener l'ensemble isolant-conducteur déposé au cours des étapes précédentes à une épaisseur  
35 inférieure à la profondeur de la rainure 124-1. On



aboutit ainsi à la formation de l'élément 126-1, situé au fond de la rainure 124-1 et de l'élément conducteur 128-1 dans leurs formes définitives. Il ne reste plus qu'à déposer une dernière couche 140 de matériau isolant (figure 13d), de préférence par la même technique que celle utilisée pour le dépôt de la couche 138. Une dernière étape de rectification permet de ramener le niveau de cette couche 140 à celui d'une couche 130-1 qui affleure la surface extérieure du tronc de cône 122. Ensuite, on procède, par exemple par brasage, à la fixation des fils de connexion 132-1, 133-1. Selon une variante de ce procédé, illustré sur les figures 14a et 14b, on commence par procéder au dépôt d'une couche 126-1 d'un matériau isolant, cette couche épousant la forme de la rainure. On dépose ensuite un fil conducteur 144-1 et on le recouvre d'une couche 146 d'un matériau isolant que l'on ramène, par rectification, à une couche 130-1 qui affleure la surface extérieure du tronc de cône 122.

On peut aussi déposer une couche de matériau isolant sur tout le pourtour du cône.

Une variante de ce type de connexion est illustrée sur la figure 15, où un tronc de cône 148 est représenté en vue de dessus. Pour sa forme, ce tronc de cône est identique au tronc de cône 122 représenté sur la figures 12 et il présente des rainures 150-1,... 150-6. Par contre, il n'est pas réalisé en acier mais en céramique. Dans chaque rainure 150-n, il est donc possible de déposer un élément conducteur, par exemple un fil conducteur 152-n directement au fond de la rainure, sans procéder au dépôt préalable d'une couche d'un matériau isolant. On recouvre ensuite cet élément conducteur d'une couche 154-n d'un matériau isolant dont la surface extérieure peut être rectifiée. Les

fils conducteurs 132-n, 133-n peuvent ensuite être brasés aux extrémités des fils conducteurs 154-n.

Cette connexion, selon l'une ou l'autre des deux variantes ci-dessus, est plus facile et plus économique à réaliser que les connexions de l'art antérieur. On évite les étapes de soudure et de moulage dans du caoutchouc et il est possible d'utiliser, afin de réaliser les différents dépôts dans les rainures, des techniques qui ont déjà été présentées ci-dessus pour effectuer les dépôts à l'extérieur du substrat, notamment la technique de dépôt par projection plasma. En outre, ce type de connexion assure l'étanchéité entre l'extérieur et l'intérieur du substrat, notamment lorsque l'angle au sommet  $2\alpha$  du tronc de cône 122 est compris entre 15 et 35°. L'étanchéité peut encore être améliorée si l'on procède au dépôt, sur la surface extérieure du tronc de cône, après dépôt des différentes couches dans les rainures, au dépôt d'une couche de cuivre ou d'argent de quelques micromètres d'épaisseur. Il est également possible de prévoir, sur la paroi tronconique 116 du substrat 114 (voir figure 12) une gorge circulaire 156 destinée à recevoir un joint torique 157 qui sera comprimé lorsque la pression extérieure va croître. Ce type de connexion est donc particulièrement bien adapté à la tenue aux hautes pressions (rappelons que la pression extérieure peut atteindre plus de 1000 bars dans certaines conditions).

Un autre type de connexion va être décrit en liaison avec la figure 16, qui représente une vue de côté et en coupe d'un substrat 164, au niveau de la connexion désignée par la référence 168. Le substrat est préalablement fraisé de façon à ouvrir une ouverture qui présente deux parties. Une première partie 170 est en forme d'un tronc de cône. Sa base est tournée vers la surface extérieure du substrat 164 et

ses parois sont inclinées avec un angle  $\beta$  par rapport à cette surface extérieure. Le tronc de cône se poursuit par une ouverture cylindrique 166 qui constitue la deuxième partie de l'ouverture. Le diamètre de cette

5 ouverture cylindrique est inférieur au diamètre de la section du tronc de cône 170. Sur le substrat 164 il est ensuite procédé au dépôt de diverses couches telles que par exemple une couche 172 d'un matériau dur et isolant, des pistes conductrices 174, 176 et une couche

10 178 d'un matériau dur et isolant. En ce qui concerne les matériaux constitutifs de ces différentes couches, ainsi que les procédés pour les déposer, on se reportera à la description ci-dessus. On prolonge ensuite les pistes 174, 176 en fixant à leur extrémité,

15 par exemple par brasure, des éléments conducteurs 180, 182, ces derniers étant reliés, à leur autre extrémité à une connexion 184 fixée contre la face intérieure du substrat 164, par exemple par soudure ou par vissage. Les deux évidements 170, 166 sont ensuite remplis d'une

20 résine 185 ou d'une colle isolante et non perméable à l'eau. L'angle  $\beta$  est de préférence choisi dans la gamme 20-45°, ce qui permet d'assurer une bonne étanchéité et une bonne résistance à la pression extérieure. De préférence, cet angle  $\beta$  est sensiblement égal à 30°.

25 Un autre exemple de connexion va maintenant être exposé, en liaison avec les figures 17a et 17b. Ces dernières représentent une vue en coupe et de côté d'un substrat 194 au niveau de la connexion qui est désignée par la référence 198. Le substrat 194 est

30 préalablement fraisé de façon à dégager, du côté de sa surface extérieure une ouverture circulaire 192 qui se prolonge vers l'intérieur par une ouverture 193 sensiblement tronconique. Il est ensuite procédé au dépôt d'une couche 196 d'un matériau dur et isolant,

35 avec ou sans couche d'accrochage. Cette couche

d'isolant se prolonge à l'intérieur du trou constitué par les ouvertures 192 et 193 et jusque sur la surface intérieure du substrat 194. Par dessus cette couche, et à l'extérieur, sont disposées des pistes conductrices 198, 200 qui sont reliées, à leur extrémité la plus proche de l'ouverture 192, à des fils conducteurs 202, 204. Ces derniers sont ramenés vers la surface intérieure du substrat 194 où ils sont fixés à leur extrémité respective 206, 208 par une couche d'un matériau isolant 210, 212 qui peut être déposée par la même technique que celle utilisée pour effectuer les dépôts à la surface extérieure du substrat 194. A l'extérieur, une deuxième couche 214 d'un matériau dur et isolant est déposée. Puis, l'intérieur des ouvertures 192, 193 est rempli à l'aide d'une résine époxy 195. Le remplissage est effectué d'une façon telle que la surface libre 197 de la résine, du côté intérieur au substrat 194 laisse découvertes des parties 216, 218 des fils conducteurs 202, 204, situées au voisinage des extrémités 206, 208 de ces fils. Ce sont ces parties qui permettent d'assurer un contact avec un connecteur classique amené du côté de la surface intérieure du substrat 194, plaqué contre cette dernière.

Selon un mode particulier de réalisation, illustré sur la figure 17b, après avoir dégagé les ouvertures 192, 193, on procède à une rectification de la surface intérieure du substrat 194. Cette zone rectifiée 220 doit être suffisamment large pour qu'un connecteur 222 puisse venir s'y appuyer. La structure des couches déposées est ensuite identique à ce qui a été décrit en liaison avec la figure 17a, sauf pour les couches 210, 212 de matériau isolant qui se prolongent vers l'intérieur de l'ouverture tronconique 193. Le remplissage des ouvertures 192, 193 par une résine 195

est ensuite effectué de telle façon que la surface 199 de la résine, du côté intérieur au substrat laisse dégagées des parties 226, 228 des conducteurs 202, 204 le long de la paroi inclinée de l'ouverture tronconique 193. C'est dans ces parties 226, 228 qu'est réalisé le contact avec des fils 230, 232 du connecteur 222. Ce dernier peut être appuyé contre la zone rectifiée 220 de la surface intérieure du substrat 194 par vissage ou serrage contre cette surface. Un joint torique 234 peut être prévu qui assurera l'étanchéité lorsque le connecteur 222 sera mis en place contre la zone rectifiée 220.

Les différentes connexions décrites ci-dessus sont de réalisation économique et aisée. Leur fabrication met essentiellement en jeu les techniques de dépôt déjà employées pour les couches extérieures et éventuellement une étape de remplissage par une résine ou une colle, ce qui ne pose pas de difficulté particulière. En outre, ce type de connexion permet de minimiser les longueurs de fils électriques utilisées et d'assurer une bonne étanchéité.

La résine peut être telle qu'elle se comprime sous la pression tout en assurant l'étanchéité et l'isolation.

Selon une variante des dispositifs des figures 17a, 17b, les ouvertures 192, 193 peuvent avoir un diamètre minimal, juste suffisant pour assurer le passage des connexions 202, 204. Ces dernières se prolongent alors sur la surface intérieure du substrat 154, par exemple sous la forme de liaisons électriques, qui sont déposées par les mêmes techniques que les liaisons électriques situées sur la surface extérieure du substrat, et qui permettent de rejoindre un connecteur tel que le connecteur 222 de la figure 17b.

## REVENDICATIONS

1. Elément de capteur adapté à l'emploi dans un forage, dont la surface extérieure comporte des parties conductrices et des parties isolantes réparties selon un dessin déterminé, caractérisé en ce que les parties conductrices et les parties isolantes sont formées respectivement d'un matériau dur, électriquement conducteur et d'un matériau dur, électriquement isolant, chacun de ces matériaux étant déposé sous forme de couche (42, 104, 172, 196 ; 36-1, ... 36-6 ; 37-1, ... 37-6 ; 60, 178, 214).
2. Elément de capteur selon la revendication 1, les couches étant déposées sur un substrat (34, 94, 114, 164, 134) ayant la forme d'un secteur de cylindre.
3. Elément de capteur selon la revendication 2, le secteur de cylindre ayant une ouverture angulaire de l'ordre de  $72^\circ$ .
4. Elément de capteur selon la revendication 2, le secteur de cylindre étant un demi-cylindre.
5. Elément de capteur selon l'une des revendications 2 à 4, le substrat étant un substrat métallique.
6. Capteur de mesure électrique, comportant :
- un support métallique (34, 94, 114, 164, 194), comportant une surface extérieure et une surface intérieure,
  - une première couche (42, 104, 172, 196) d'un matériau dur, électriquement isolant, déposée sur la surface extérieure du support,
  - une couche d'un matériau dur, électriquement conducteur, déposée sur une partie de la première couche et définissant une ou plusieurs électrodes (36-1, ... 36-6 ; 37-1, ... 37-6),

- au moins une connexion électrique (58, 118, 168, 198) disposée à l'intérieur ou contre la surface intérieure du support métallique,
- des éléments de liaison électrique (48-1,... 48-6 ;  
5 54-1,... 54-6) déposés sur la première couche, ayant chacun une première extrémité (46-1,... 46-6 ; 52-1,... 52-6) reliée à une électrode et une deuxième extrémité (50-1,... 50-6 ; 56-1,... 56-6) reliée à une des connexions,
- 10 - une deuxième couche (60, 178, 214) d'un matériau dur, électriquement isolant, recouvrant au moins certains éléments de liaison électrique.

7. Capteur de mesure électrique selon la revendication 6, comportant en outre une couche (45)  
15 d'un matériau d'accrochage de la première couche de matériau dur et isolant, comprise entre cette dernière et le support métallique.

8. Capteur selon la revendication 7, la couche d'accrochage étant soit en MCrAlY où M est un métal,  
20 soit en NiAl, soit en molybdène.

9. Capteur de mesure selon la revendication 6 ou élément de capteur selon la revendication 1, le matériau dur et isolant étant choisi parmi les oxydes  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3$  et  $B_2O_3$ .

25 10. Capteur de mesure selon la revendication 6 ou élément de capteur selon la revendication 1, le matériau dur et conducteur étant du type carbure.

11. Capteur selon la revendication 10, le matériau dur et conducteur étant constitué d'un  
30 matériau de base choisi parmi  $B_4C$ ,  $SiC$ ,  $Be_2C$ ,  $TiC$ ,  $WC$ ,  $TaC$ ,  $NbC$ ,  $Cr_3C_2$ ,  $b-MO_2C$ ,  $h-MOC$ ,  $VC$ ,  $HfC$ ,  $ZrC$ , ledit matériau étant dopé avec du cobalt ou du nickel ou un mélange ternaire nickel-chrome-molybdène (NiCrMo).

12. Capteur selon la revendication 11, la  
35 proportion de dopant étant inférieure à 20% en masse.

13. Capteur selon l'une des revendications 6 à 12, les éléments de liaison électrique étant des pistes conductrices.

14. Capteur selon la revendication 13, les  
5 pistes conductrices étant en nickel (Ni), en cuivre (Cu) ou en aluminium (Al).

15. Capteur selon l'une des revendications 6 à 14, le support étant gravé.

16. Capteur selon la revendication 15, le  
10 support étant gravé aux endroits où sont déposés les éléments de liaison électrique.

17. Capteur selon l'une des revendications 6 à 16, le support comportant un trou (116) en forme de tronc de cône à l'endroit d'au moins une connexion  
15 électrique, les parois du tronc de cône formant avec la surface intérieure du support un angle  $\alpha$ .

18. Capteur selon la revendication 17, la connexion comportant un tronc de cône (122) en métal présentant des rainures (124-1,... 124-6) sur sa  
20 périphérie, chaque rainure étant remplie par un ensemble constitué d'une première couche d'un matériau isolant (126-1,... 126-6), d'un élément conducteur (128-1,... 128-6) et d'une deuxième couche (130-1,... 130-6) d'un matériau isolant.

19. Capteur selon la revendication 17, la connexion comportant un tronc de cône (148) en  
25 céramique présentant des rainures (150-1,... 150-6) sur sa périphérie, chaque rainure étant remplie par un ensemble constitué d'un élément conducteur (152-1,... 152-6) et d'une couche d'un matériau isolant (154-1,...  
30 154-6).

20. Capteur selon l'une des revendications 18 ou 19, le tronc de cône ayant un angle au sommet  $2\alpha$  compris entre 15 et 35°.



21. Capteur selon l'une des revendications 17 à 20, le tronc de cône étant recouvert d'une couche de cuivre ou d'argent de quelques micromètres d'épaisseur.

22. Capteur selon l'une des revendications 17 à 5 21, une gorge (156) étant formée dans la paroi du trou en forme de tronc de cône, ladite gorge étant adaptée à recevoir un joint torique (157).

23. Capteur selon l'une des revendications 6 à 10 16, le support comportant une ouverture constituée d'une première et d'une seconde partie, la première partie (170) étant en forme de tronc de cône dont les parois sont inclinées d'un angle  $\beta$  par rapport à la surface extérieure du support et la deuxième partie (166) étant en forme de cylindre débouchant sur la 15 surface intérieure du support.

24. Capteur selon la revendication 23, les éléments de liaison électrique (48-1,... 48-6 ; 54-1,... 54-6) déposés sur le support étant prolongés par des éléments conducteurs (180, 182) passant par la 20 deuxième partie (166) de l'ouverture et permettant de les relier à des moyens de connexion électrique (184) situés à l'intérieur du support, la première et la seconde parties (166, 170) de l'ouverture étant remplies d'une résine époxy ou d'une colle (185).

25 25. Capteur selon l'une des revendications 23 ou 24, l'angle  $\beta$  étant compris entre 20 et 45°.

26. Capteur selon la revendication 25, l'angle  $\beta$  étant sensiblement égal à 30°.

27. Capteur selon l'une des revendications 6 à 30 16, le support comportant une ouverture circulaire (192) se prolongeant vers l'intérieur par une ouverture (193) sensiblement tronconique.

28. Capteur selon la revendication 27, la 35 première couche (196) de matériau dur et isolant se prolongeant sur les parois des ouvertures (192, 193) et

s'étendant sur une partie de la surface intérieure du support.

29. Capteur selon la revendication 28, les éléments de liaison électrique déposés sur le support  
5 étant prolongés par des éléments conducteurs (202, 204) ramenés vers la surface intérieure du support, contre laquelle ils sont maintenus fixés par une couche de matériau isolant (210, 212), les ouvertures (192, 193)  
10 étant remplies d'une résine époxy ou d'une colle, de façon à laisser libre une partie (216, 218) des éléments conducteurs (202, 204), du côté de la surface intérieure au support.

30. Capteur selon la revendication 28, les éléments de liaison électrique déposés sur le support  
15 étant prolongés par des éléments conducteurs (202, 204), ramenés par les ouvertures (192, 193) vers la surface intérieure du support contre laquelle ils sont maintenus fixés par une couche de matériau isolant (210, 212) se prolongeant sur une partie de l'ouverture  
20 tronconique (193), les ouvertures (192, 193) étant remplies d'une résine époxy ou d'une colle de façon à laisser libre une partie (226, 228) des éléments conducteurs (202, 204) le long de la paroi de l'ouverture tronconique (193).

25 31. Procédé de fabrication d'un capteur de mesure électrique comportant les étapes suivantes :  
- une étape de dépôt, sur la surface extérieure d'un support métallique (34, 94, 114, 164, 194,) d'une première couche (42, 104, 172, 196) d'un matériau  
30 dur, électriquement isolant,  
- une étape de dépôt d'une couche d'un matériau dur, électriquement conducteur, sur une partie de la première couche, définissant ainsi une ou plusieurs électrodes (36-1,... 36-6 ; 37-1,... 37-6),

- une étape de formation d'au moins une connexion électrique à l'intérieur ou contre la surface intérieure du support métallique,
- une étape de dépôt, sur la première couche, 5 d'éléments de liaison électrique (48-1,... 48-6 ; 54-1,... 54-6), une première extrémité (46-1,... 46-6 ; 52-1,... 52-6) de chaque élément de liaison électrique étant reliée à une électrode et une 10 deuxième extrémité (50-1,... 50-6 ; 56-1,... 56-6) étant reliée à une des connexions,
- une étape de dépôt d'une deuxième couche (60, 178, 214) d'un matériau dur, électriquement isolant, sur au moins certains éléments de liaison électrique.

32. Procédé de fabrication d'un capteur de 15 mesure selon la revendication 31, comportant en outre une étape de dépôt d'une couche (45) d'un matériau d'accrochage de la première couche de matériau dur et isolant.

33. Procédé selon la revendication 32, la 20 couche d'accrochage étant soit en MCrAlY où M est en métal, soit en NiAl, soit en molybdène.

34. Procédé selon l'une des revendications 31 à 33, le matériau dur et isolant étant choisi parmi les oxydes  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $SiO_2$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $ZrO_2$ ,  $Y_2O_3$  et  $B_2O_3$ .

25 35. Procédé selon l'une des revendications 31 à 34, le matériau dur et conducteur étant du type carbure.

36. Procédé selon la revendication 35, le 30 matériau dur et conducteur étant constitué d'un matériau de base choisi parmi  $B_4C$ ,  $SiC$ ,  $Be_2C$ ,  $TiC$ ,  $WC$ ,  $TaC$ ,  $NbC$ ,  $Cr_3C_2$ ,  $b-MO_2C$ ,  $h-MOC$ ,  $VC$ ,  $HfC$ ,  $ZrC$ , ledit matériau étant dopé avec du cobalt ou du nickel ou un mélange ternaire nickel-chrome-molybdène (NiCrMo).

37. Procédé selon la revendication 36, la 35 proportion de dopant étant inférieure à 20% en masse.

38. Procédé selon l'une des revendications 31 à 37, l'étape de dépôt des éléments de liaison électrique étant une étape de dépôt de pistes conductrices.

5 39. Procédé selon la revendication 38, les pistes conductrices étant en nickel ou en aluminium ou en cuivre.

40. Procédé selon l'une des revendications 31 à 39, le support métallique étant préalablement gravé.

10 41. Procédé selon l'une des revendications 31 à 40, le support étant préalablement nettoyé et/ou sablé.

42. Procédé selon l'une des revendications 31 à 40, les différentes couches étant déposées soit par dépôt par vapeur chimique (LCVD), soit par dépôt en phase vapeur (PVD), soit par laser, soit par procédé 15 sol-gel, soit par implantation d'ions, soit par projection plasma.

43. Procédé selon l'une des revendications 31 à 42, comportant une étape finale de surfusion de la surface extérieure de l'appareil par une torche ou par 20 laser.

44. Procédé selon l'une des revendications 31 à 42, comportant une étape finale d'enrobage des électrodes par du cobalt, du nickel ou de l'aluminium.

25 45. Procédé selon l'une des revendications 31 à 42, comportant une étape finale d'enrobage des parties isolantes par une résine phénolique.

46. Procédé selon la revendication 31, l'étape de formation d'au moins une connexion électrique comportant le perçage dans le support d'un trou en 30 forme de tronc de cône, à l'endroit de la connexion électrique, les parois du tronc de cône formant avec la surface intérieure du support un angle  $\alpha$ .

47. Procédé selon la revendication 46, comportant en outre une première sous-étape de 35 fabrication d'un tronc de cône en métal présentant des

rainures sur sa périphérie, une deuxième sous-étape de remplissage de chaque rainure par un ensemble constitué d'une première couche d'un matériau isolant, d'un élément conducteur et d'une deuxième couche d'un matériau isolant.

48. Procédé selon la revendication 46, comportant une première sous-étape de fabrication d'un tronc de cône en céramique présentant des rainures sur sa périphérie, et une deuxième sous-étape de remplissage de chaque rainure par un ensemble constitué d'un élément conducteur et d'une couche d'un matériau isolant.

49. Procédé selon la revendication 31, l'étape de formation d'au moins une connexion électrique comportant :

- une première sous-étape de formation d'une ouverture dans le support, ladite ouverture étant constituée d'une première et d'une seconde parties, la première partie étant en forme de tronc de cône dont les parois sont inclinées d'un angle  $\beta$  par rapport à la surface extérieure du support et la deuxième partie étant en forme de cylindre débouchant sur la surface intérieure du support,
- une deuxième sous-étape de prolongation des éléments conducteurs déposés sur la surface extérieure du support par des éléments conducteurs passant par la deuxième partie de l'ouverture et permettant de les relier à des moyens de connexion électrique situés à l'intérieur du support,
- une troisième sous-étape de remplissage de la première et de la seconde parties de l'ouverture par une résine époxy ou une colle.

50. Procédé selon la revendication 31, l'étape de formation d'au moins une connexion électrique comportant une sous-étape de formation, dans le

support, d'une ouverture circulaire se prolongeant vers l'intérieur par une ouverture sensiblement tronconique, la première couche de matériau dur et isolant étant ensuite prolongée sur les parois des ouvertures s'étendant sur une partie de la surface intérieure du support.

51. Procédé selon la revendication 50, comportant en outre une sous-étape dans laquelle les éléments de liaison électrique déposés sur la surface extérieure du support sont prolongés par des éléments conducteurs ramenés vers la surface intérieure du support, une sous-étape de dépôt d'une couche de matériau isolant contre la surface intérieure du support, afin de maintenir contre cette dernière les éléments conducteurs de prolongation, et une sous-étape de remplissage des ouvertures par une résine époxy ou une colle, de façon à laisser libre une partie des éléments conducteurs de prolongation, du côté de la surface intérieure au support.

52. Procédé selon la revendication 50, comportant en outre une sous-étape dans laquelle les éléments de liaison électrique déposés sur la surface extérieure du support sont prolongés par des éléments de liaison électrique ramenés vers la surface intérieure du support, une sous-étape de dépôt d'une couche de matériau isolant contre la surface intérieure du support, cette couche se prolongeant sur une partie de l'ouverture tronconique, afin de maintenir contre cette dernière les éléments de liaison électrique de prolongation, et une sous-étape de remplissage des ouvertures par une résine époxy ou une colle de façon à laisser libre une partie des éléments de liaison électrique de prolongation le long de la paroi de l'ouverture tronconique.

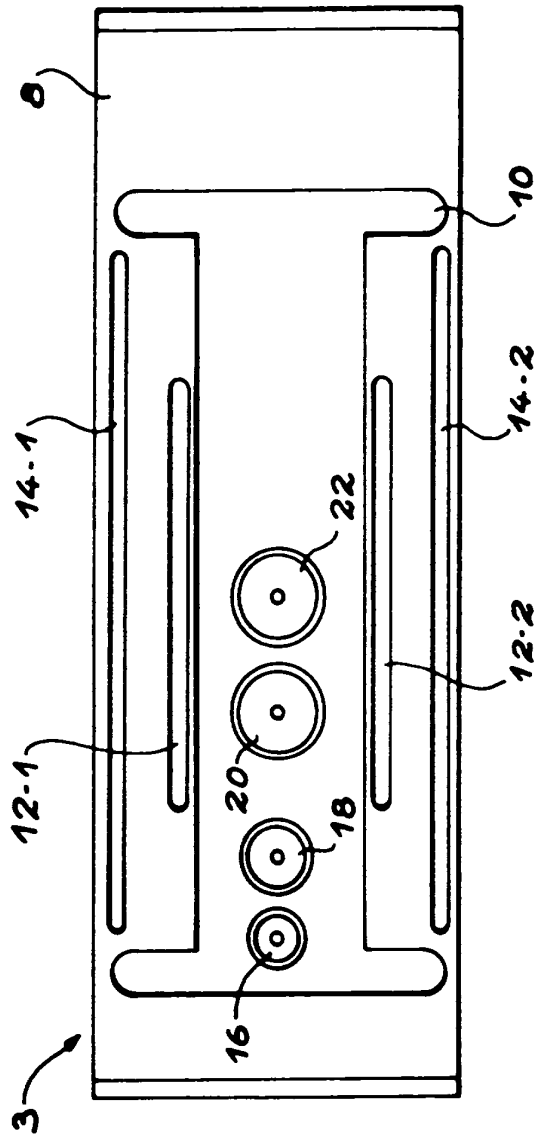


FIG. 1a

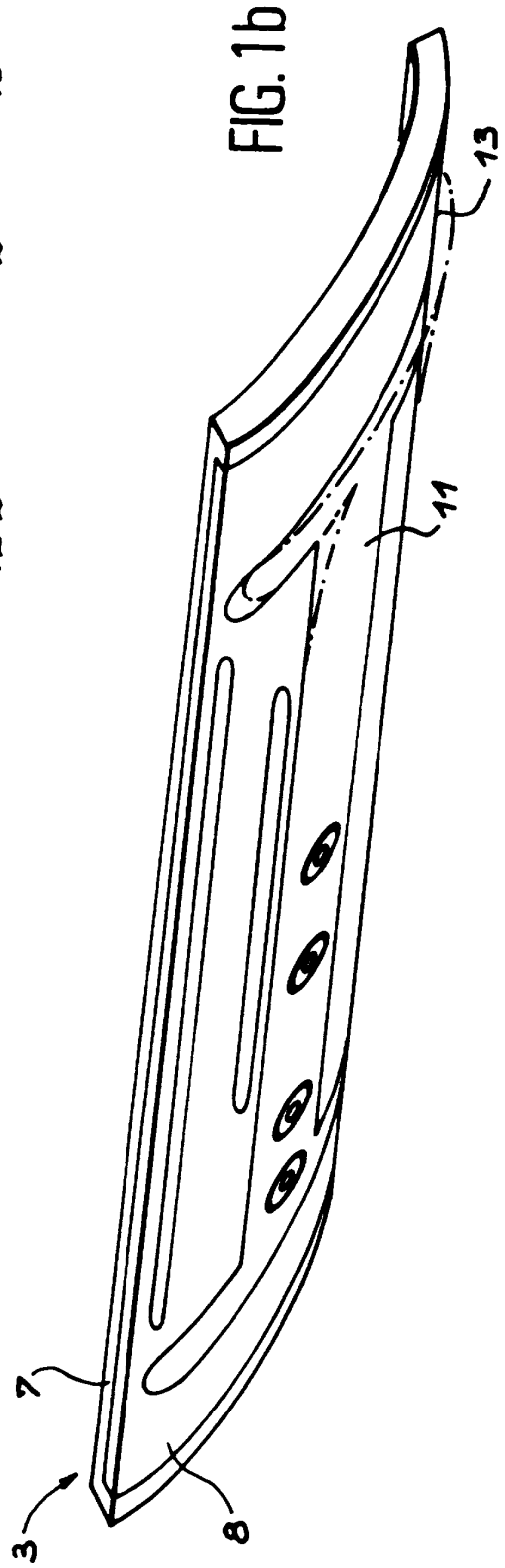


FIG. 1b

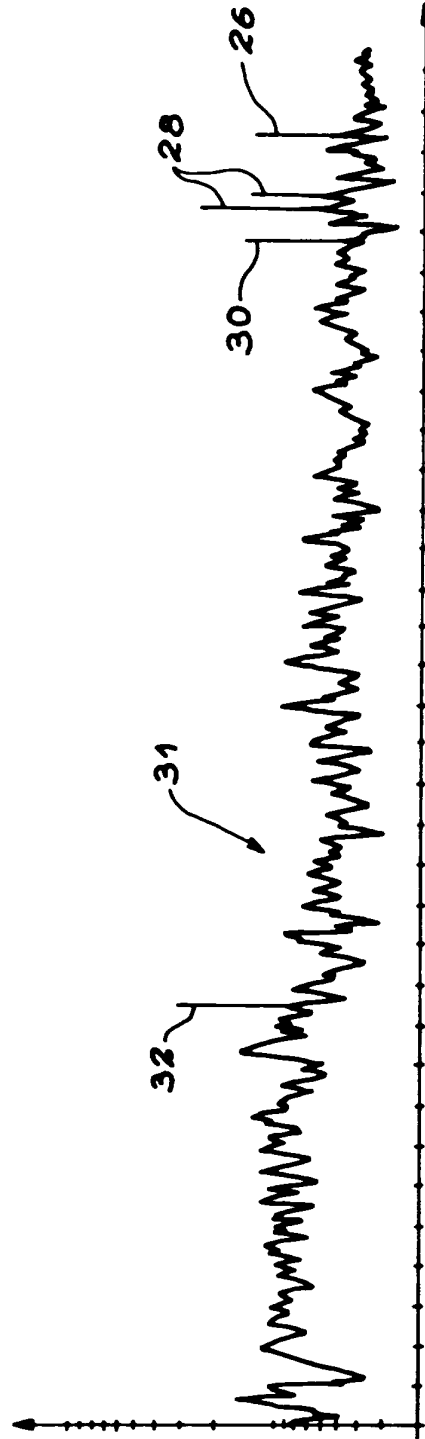


FIG. 2



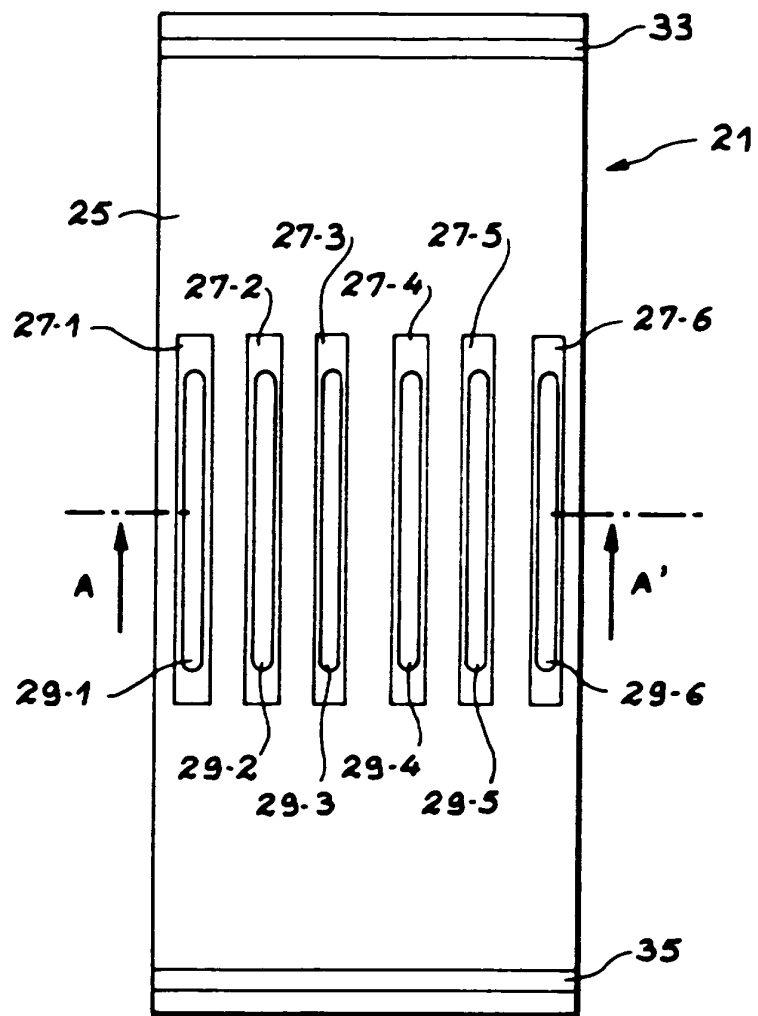


FIG. 3a

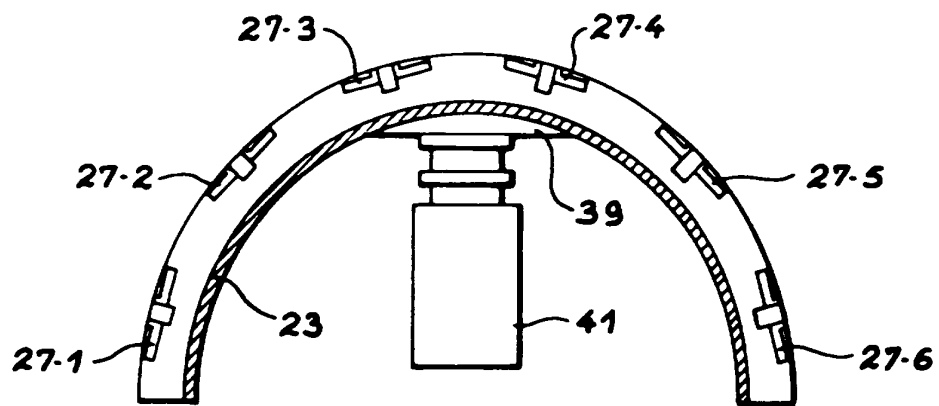


FIG. 3b

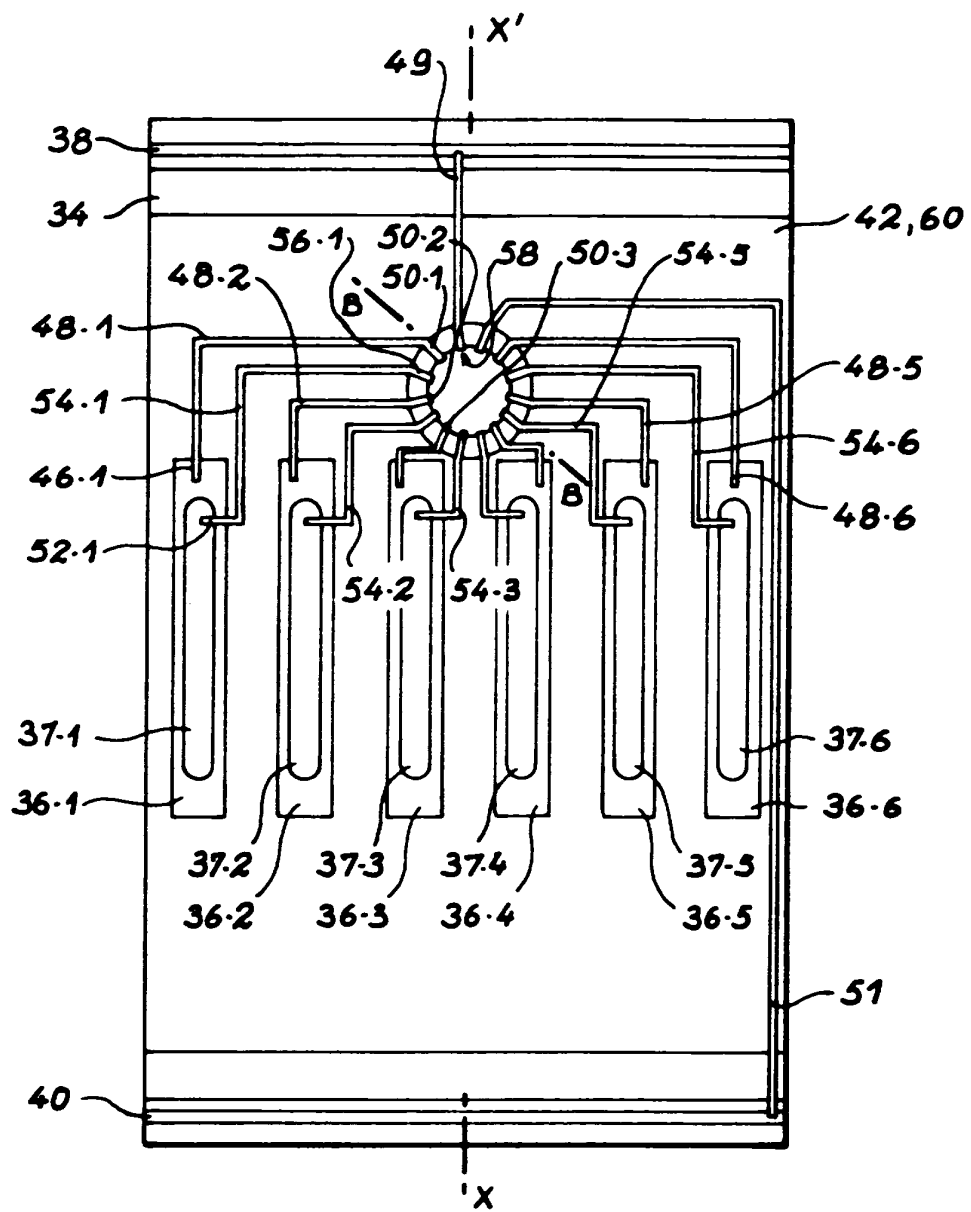


FIG. 4a

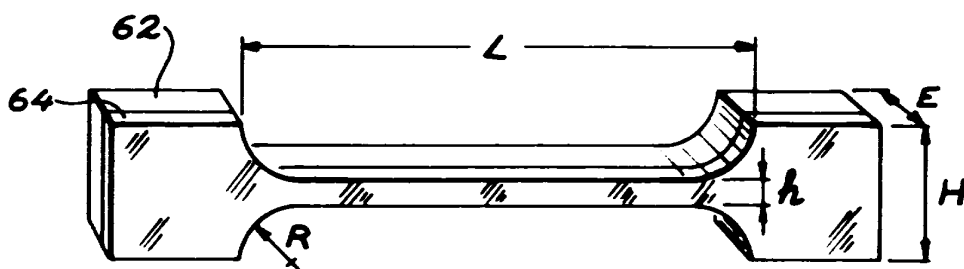


FIG. 5

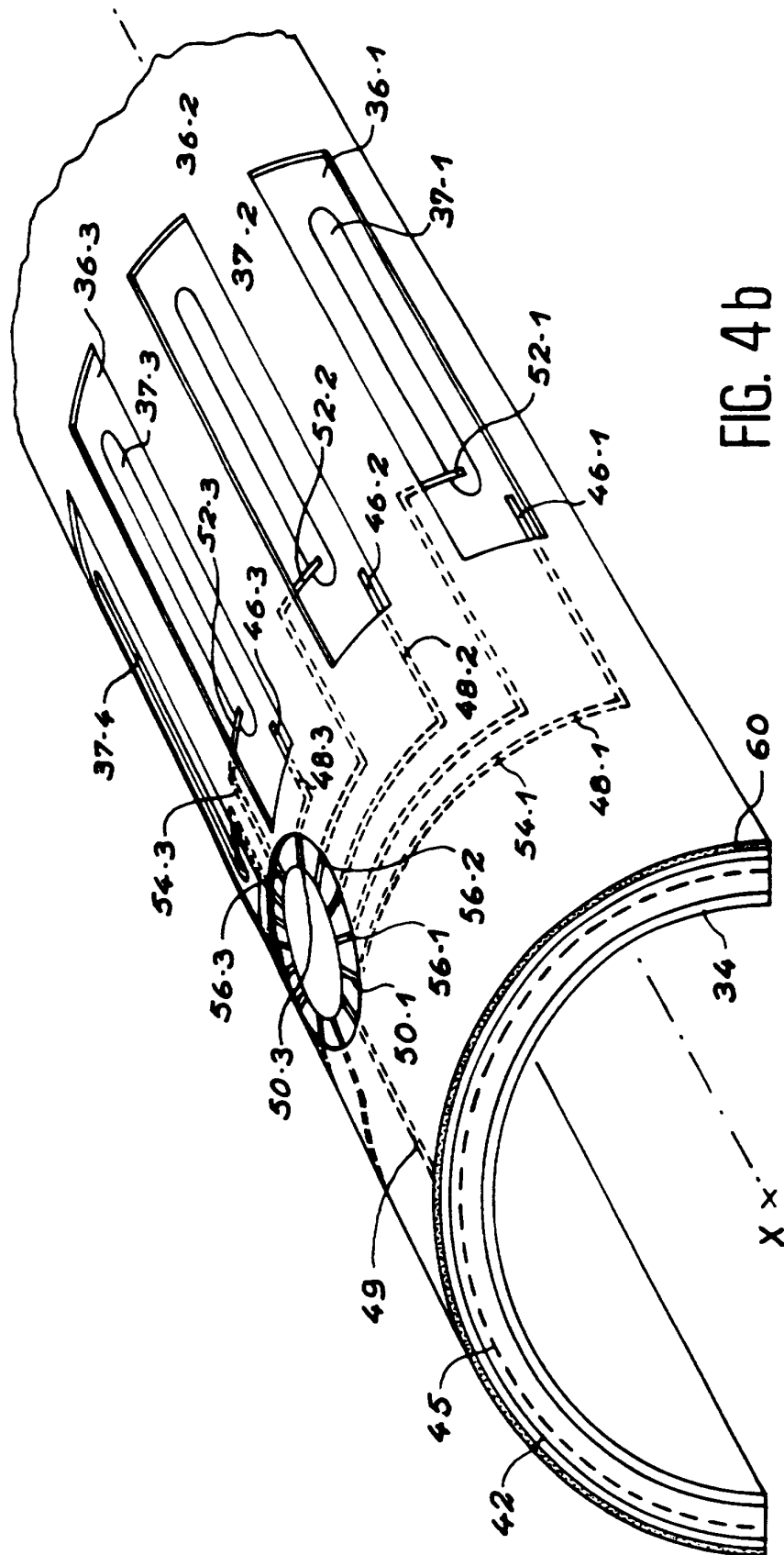


FIG. 4b

6/15

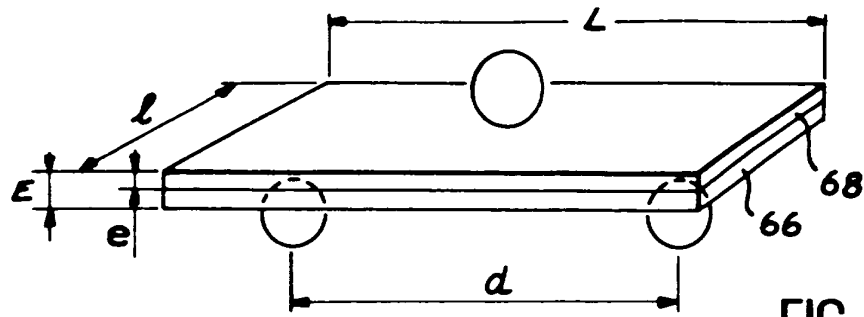


FIG. 6

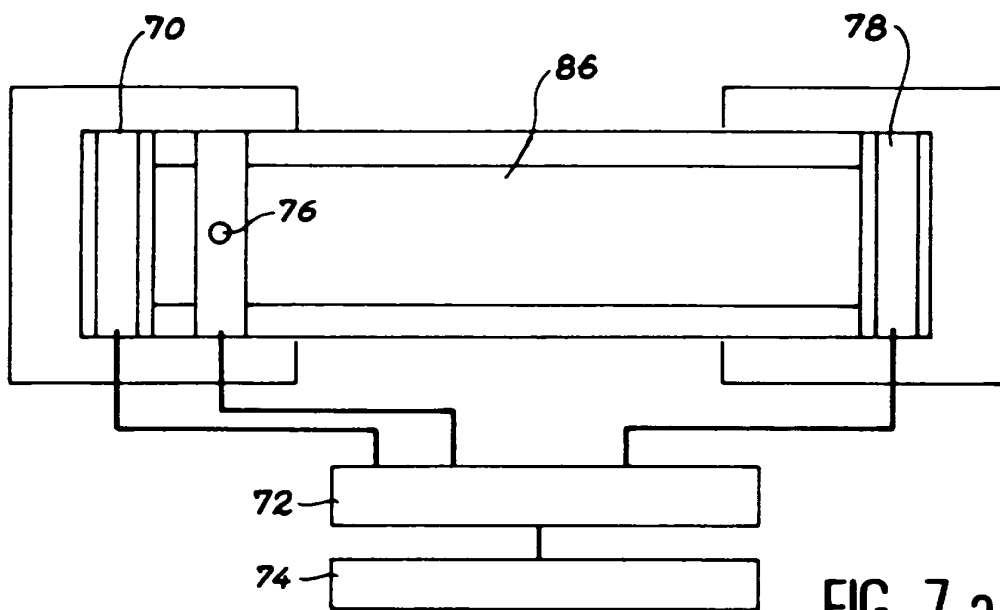


FIG. 7 a

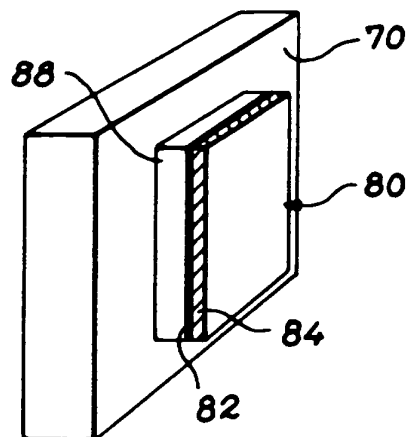


FIG. 7 b

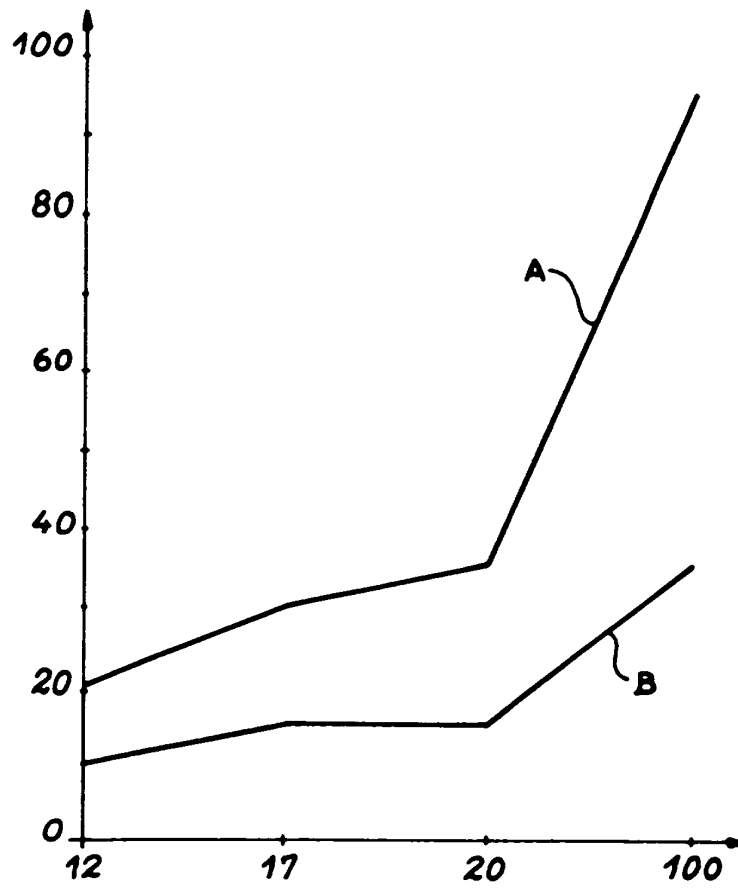


FIG. 8

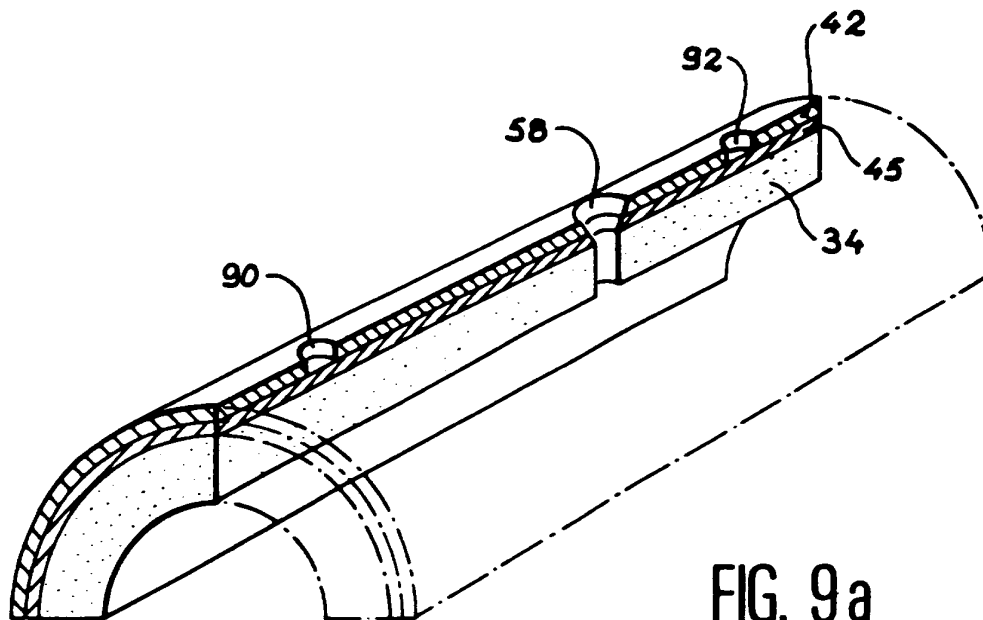
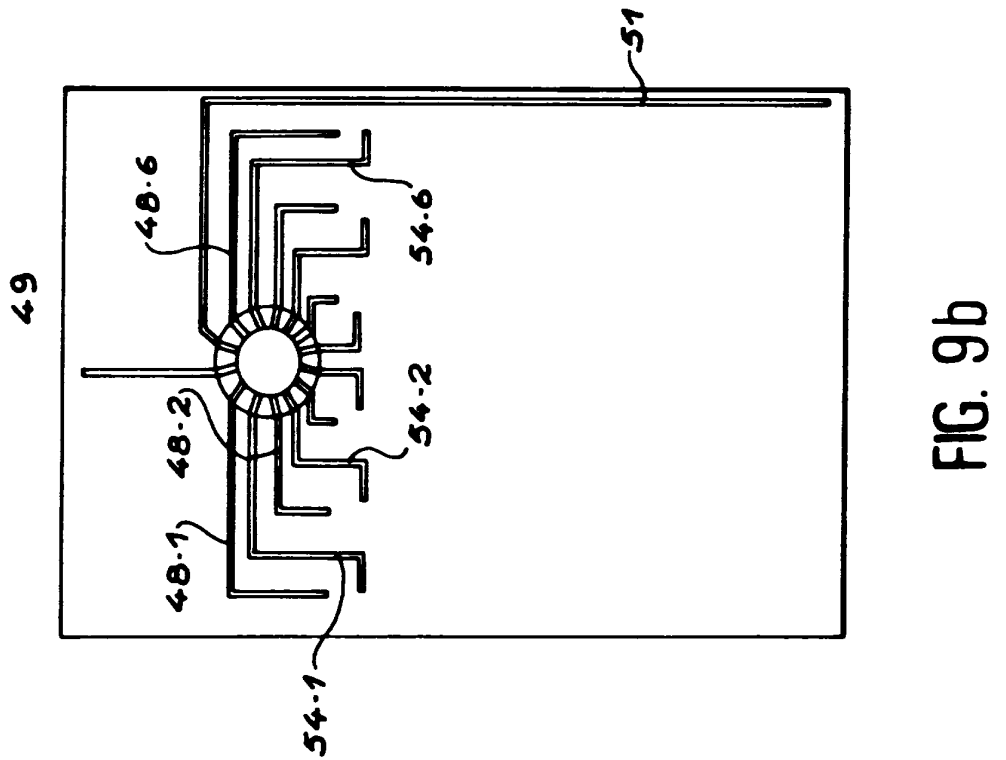
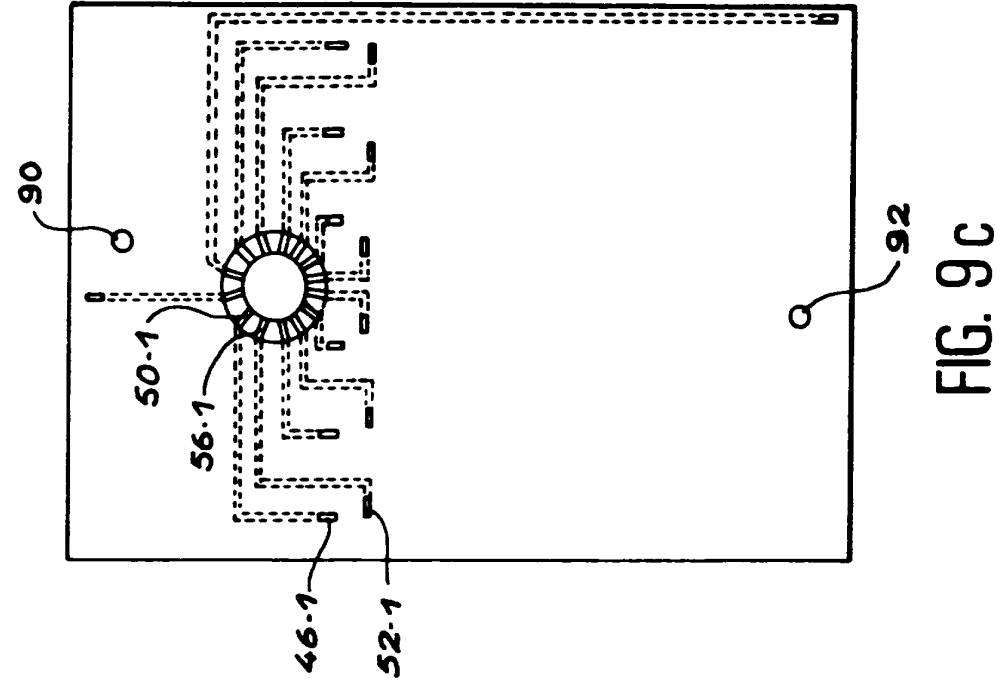


FIG. 9a



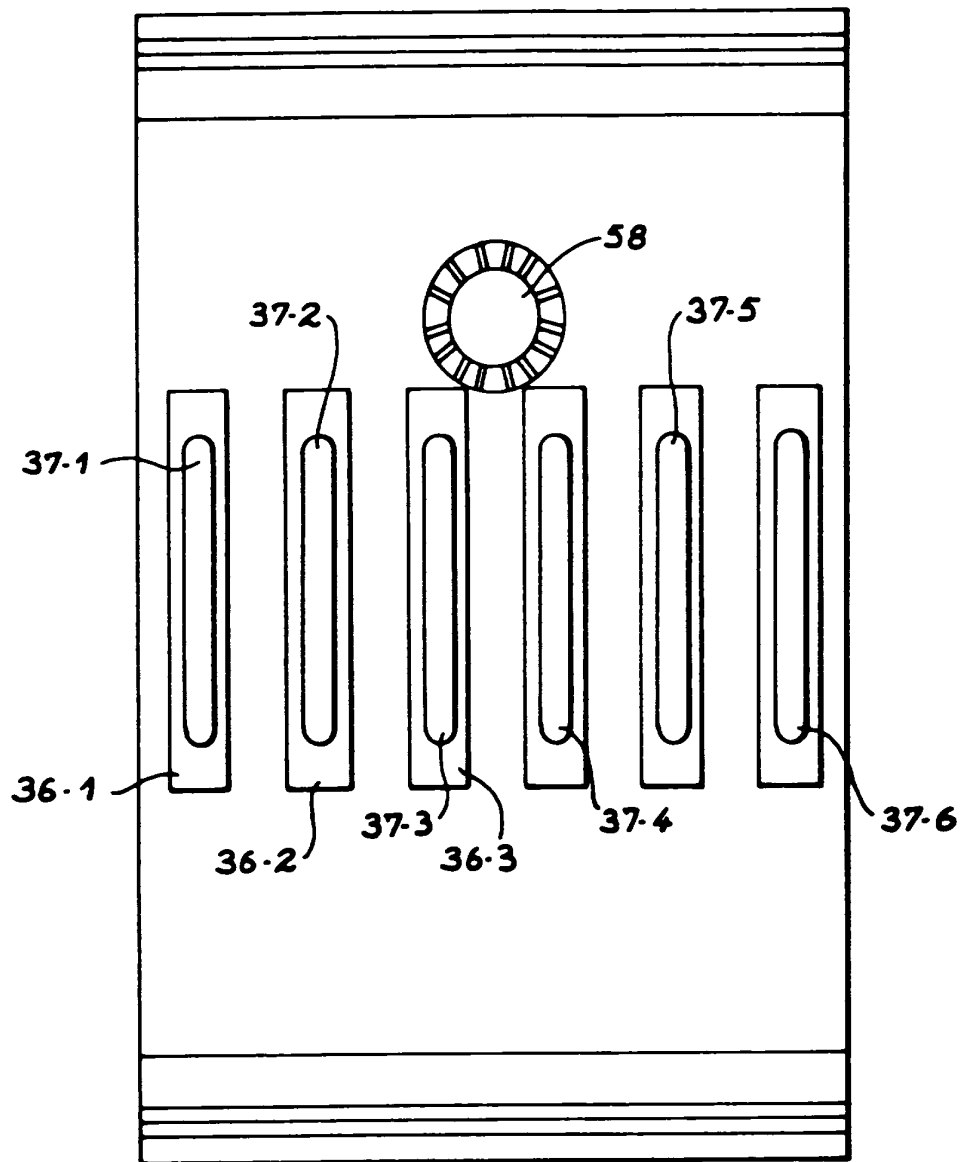


FIG. 9d

10/15

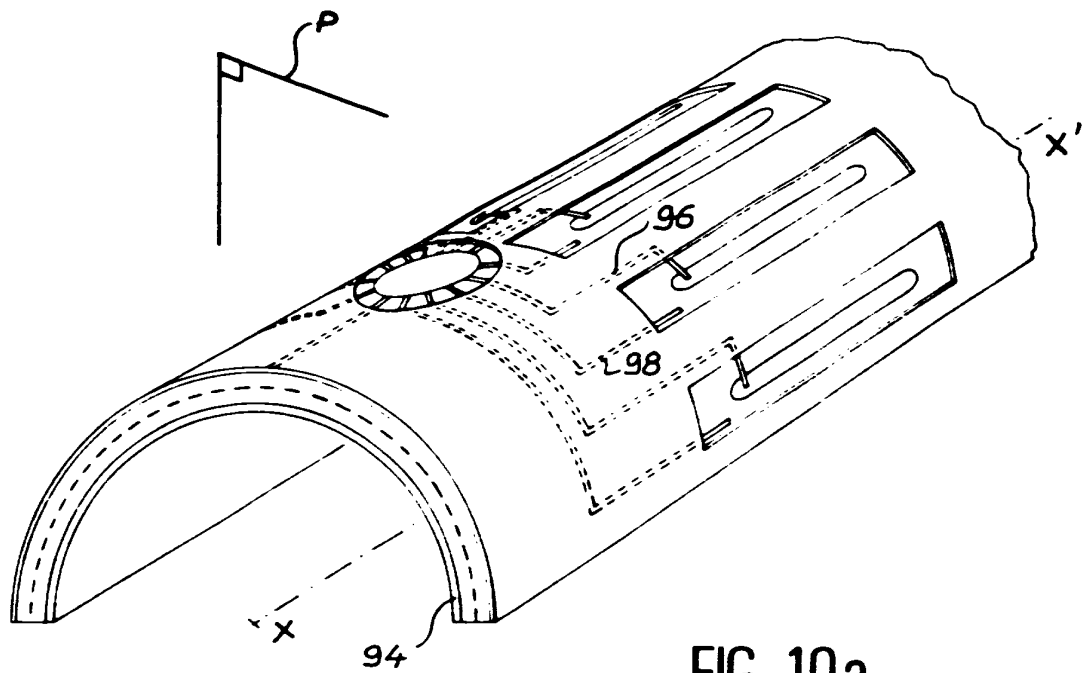


FIG. 10a

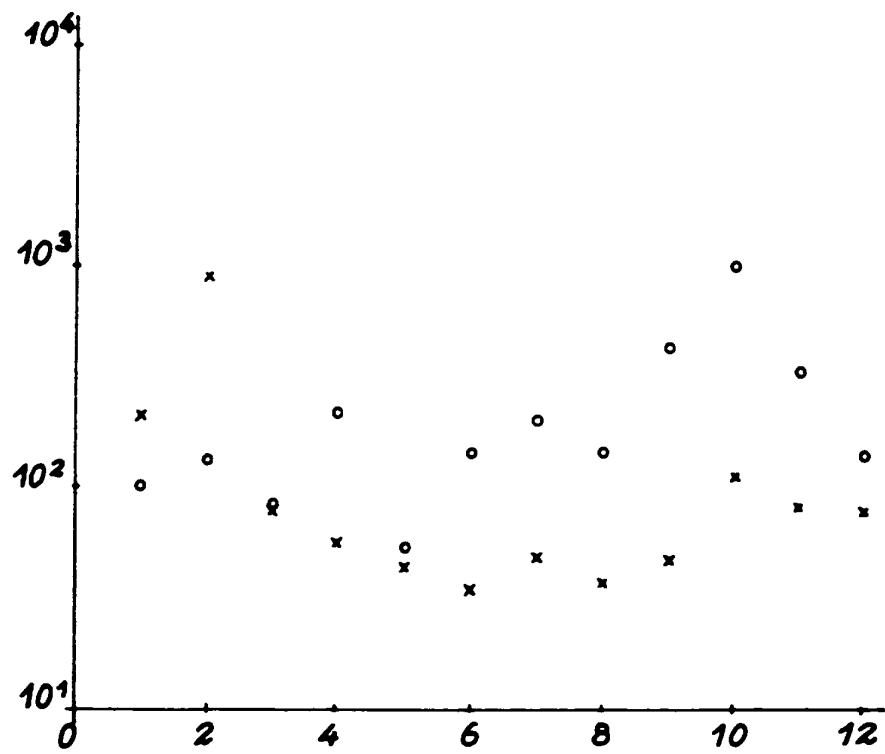
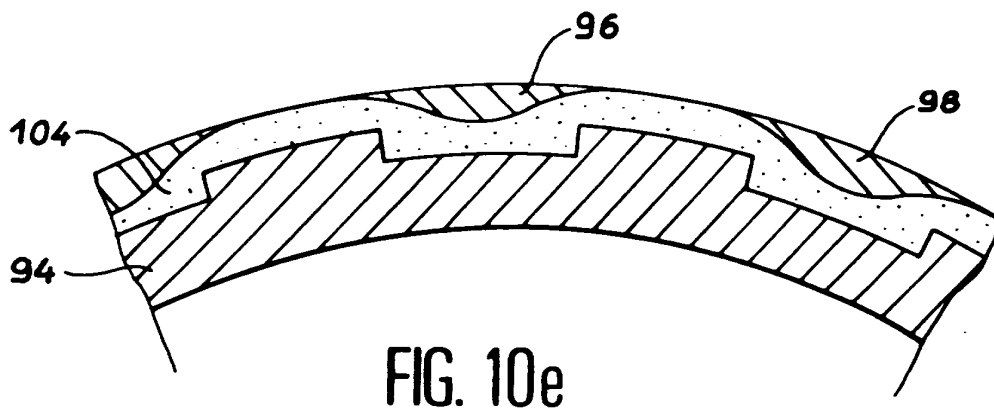
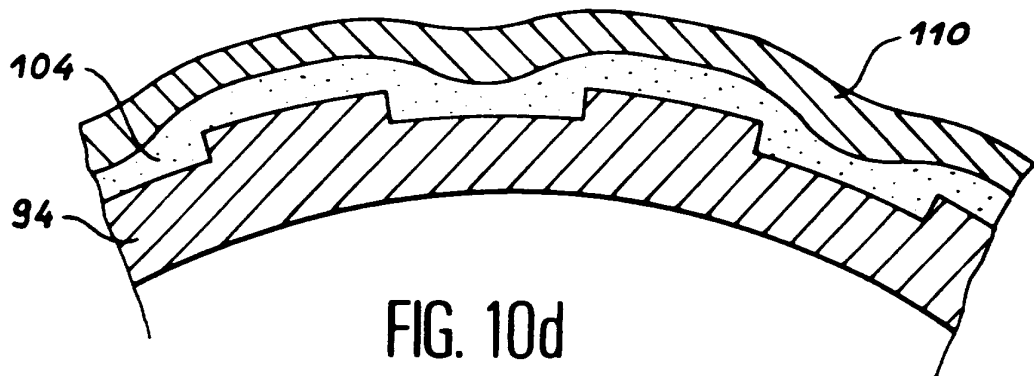
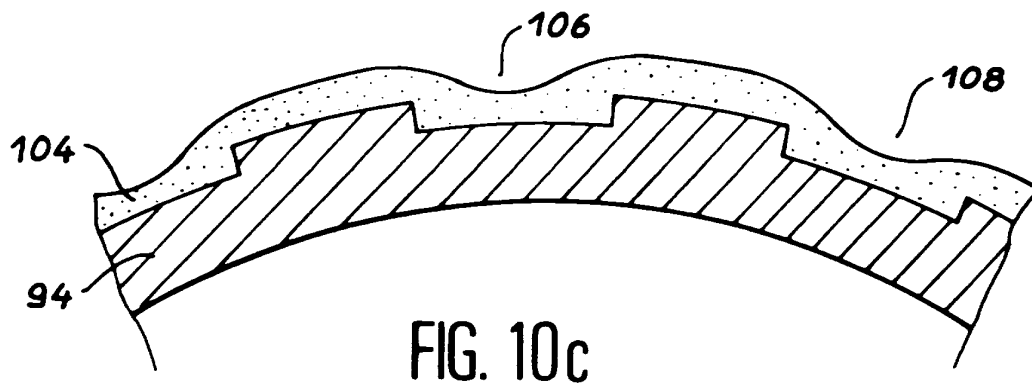
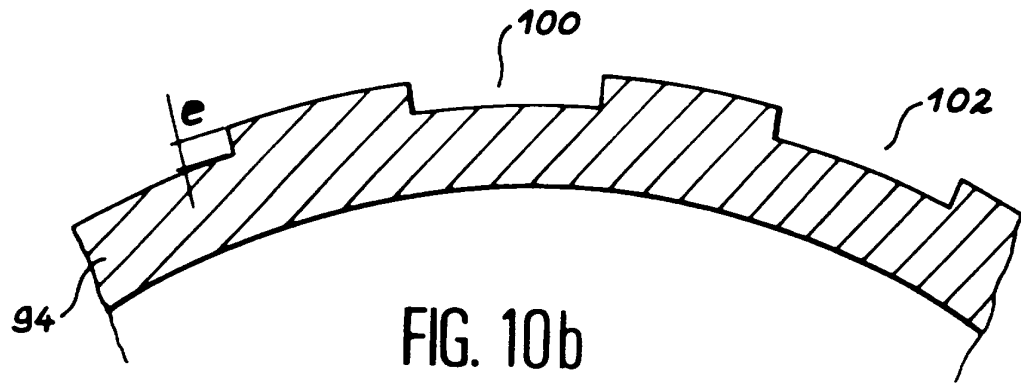


FIG. 11



11/15



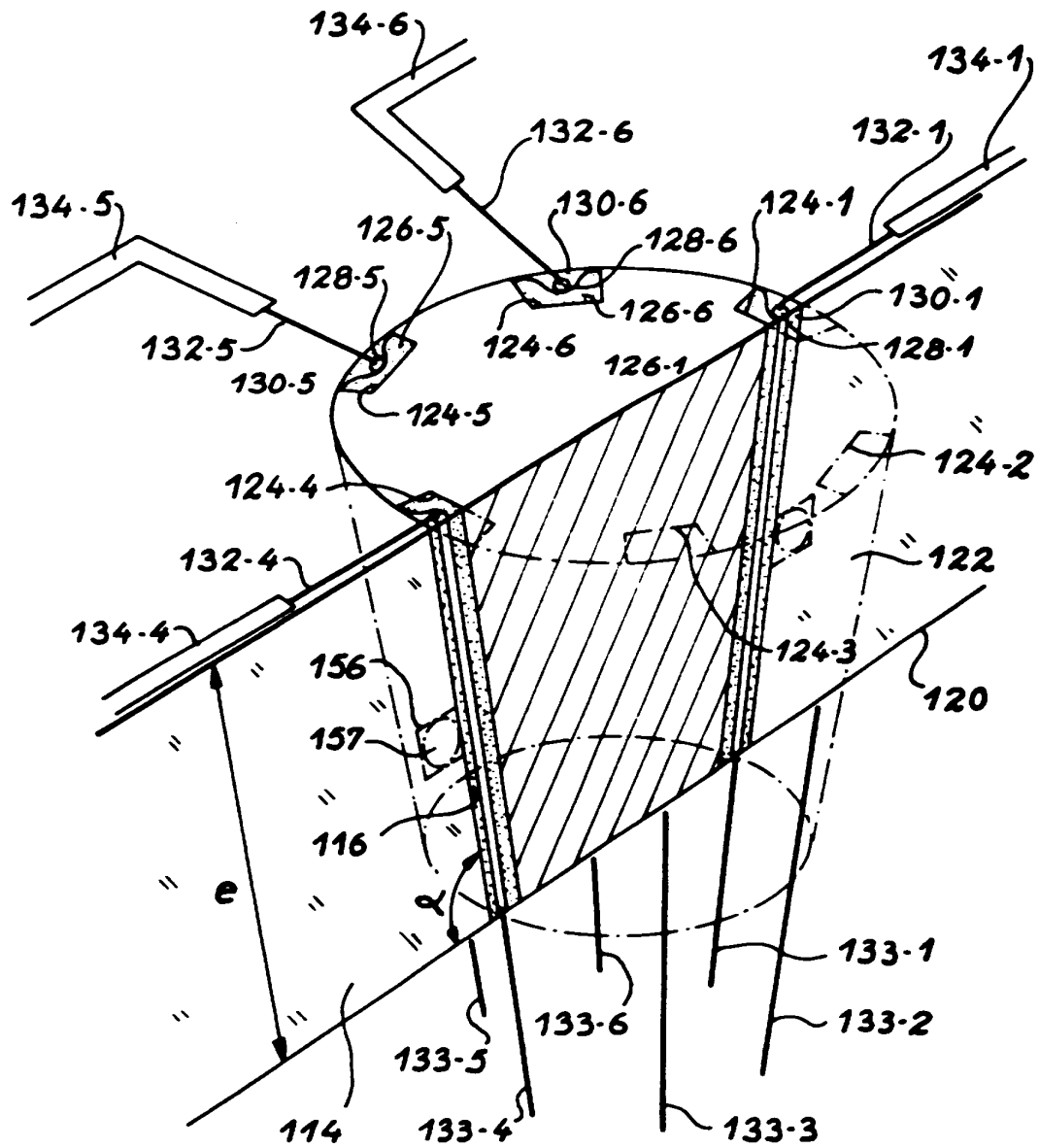


FIG. 12

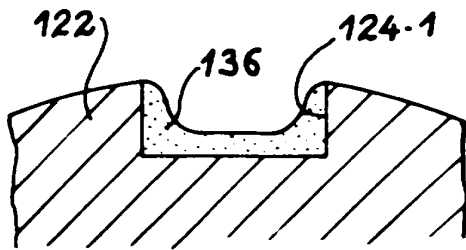


FIG. 13 a

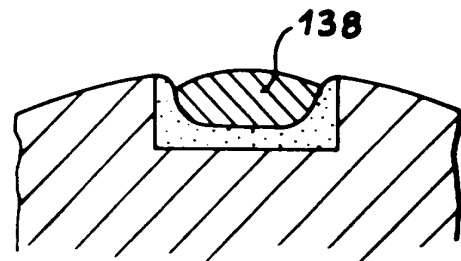


FIG. 13 b

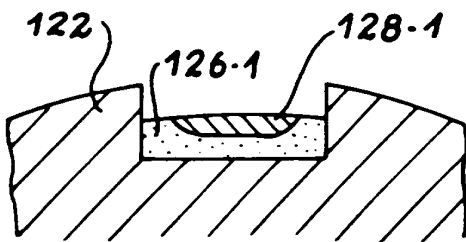


FIG. 13 c

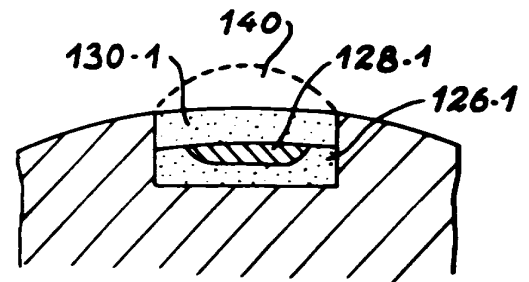


FIG. 13 d

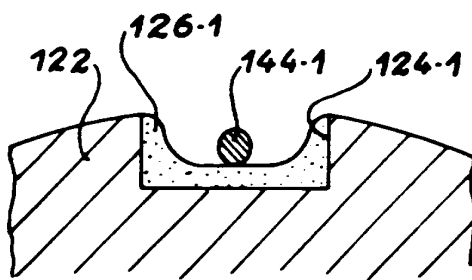


FIG. 14 a

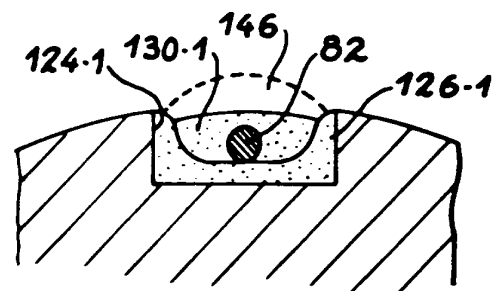


FIG. 14 b

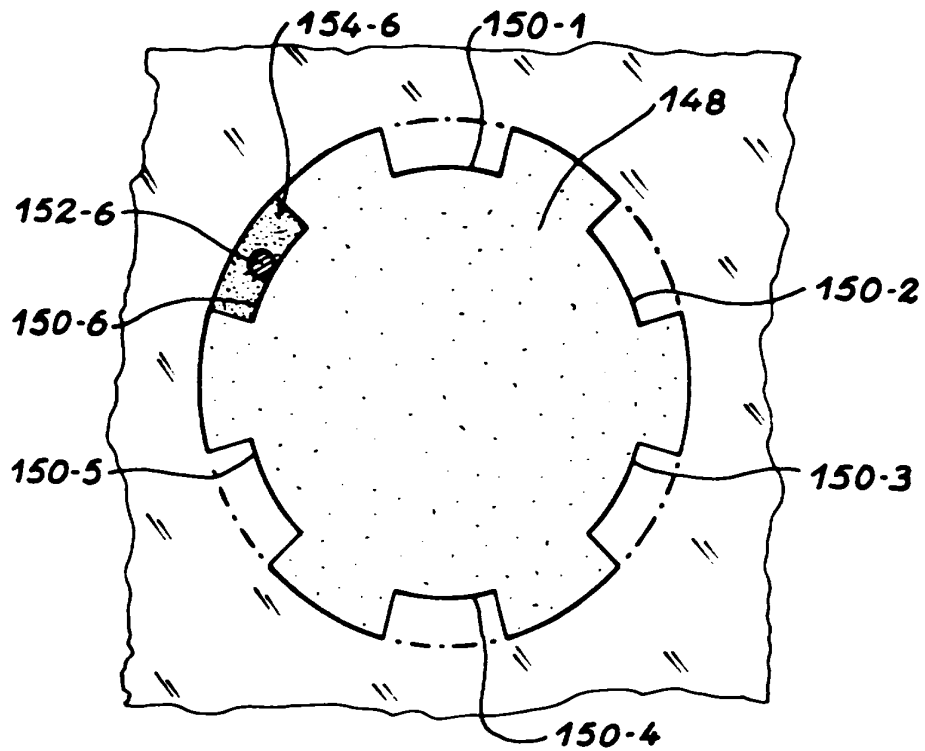


FIG. 15

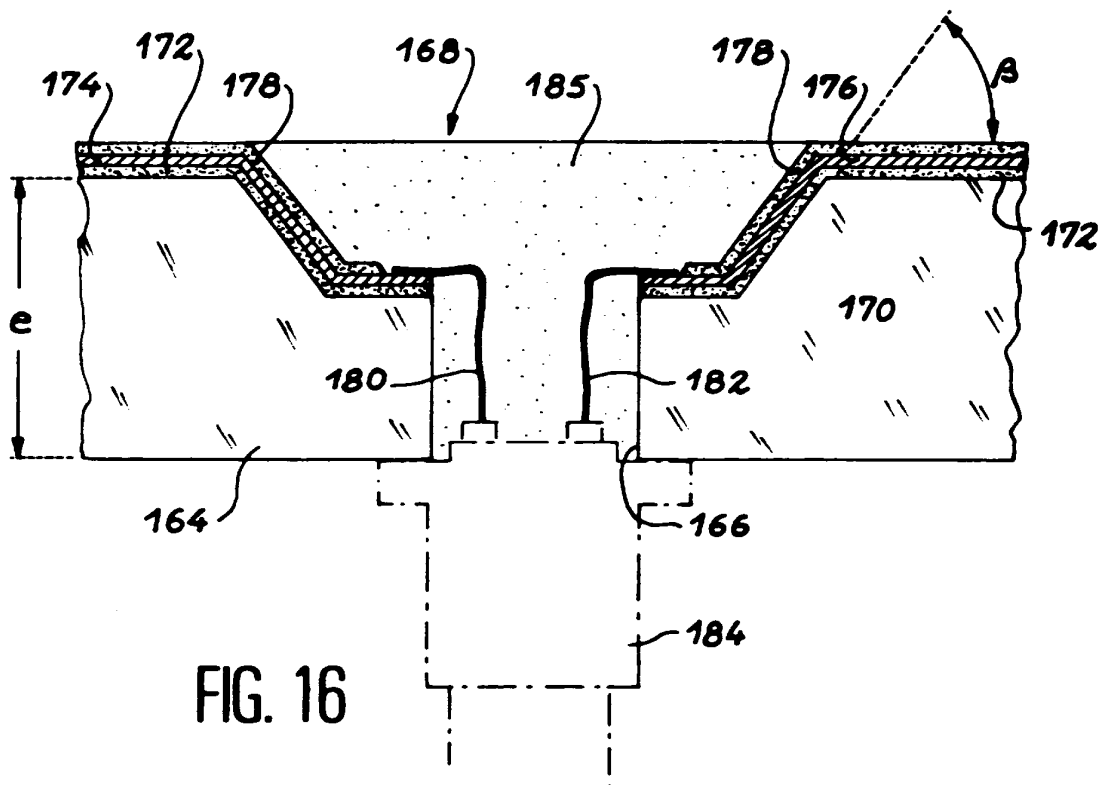


FIG. 16

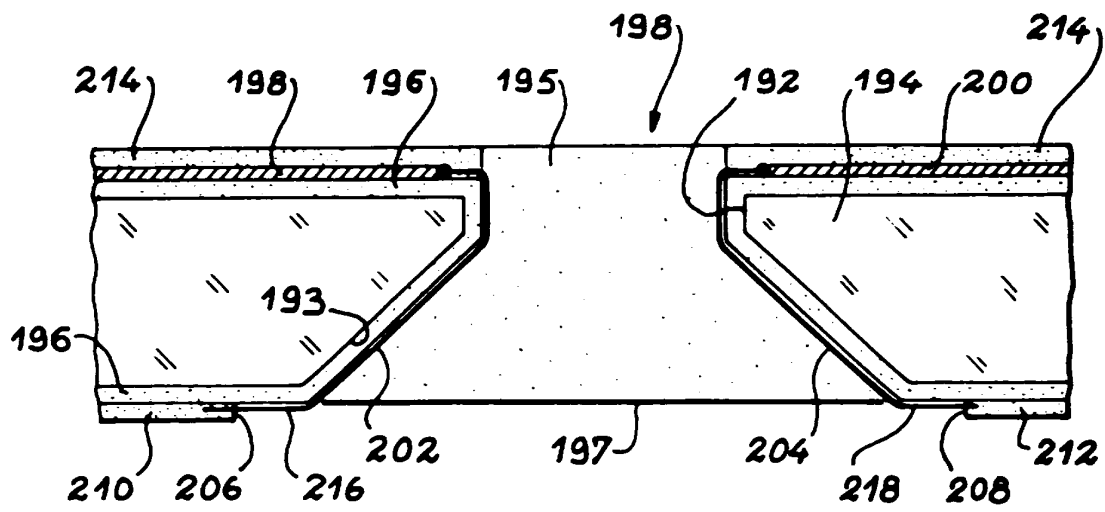


FIG. 17 a

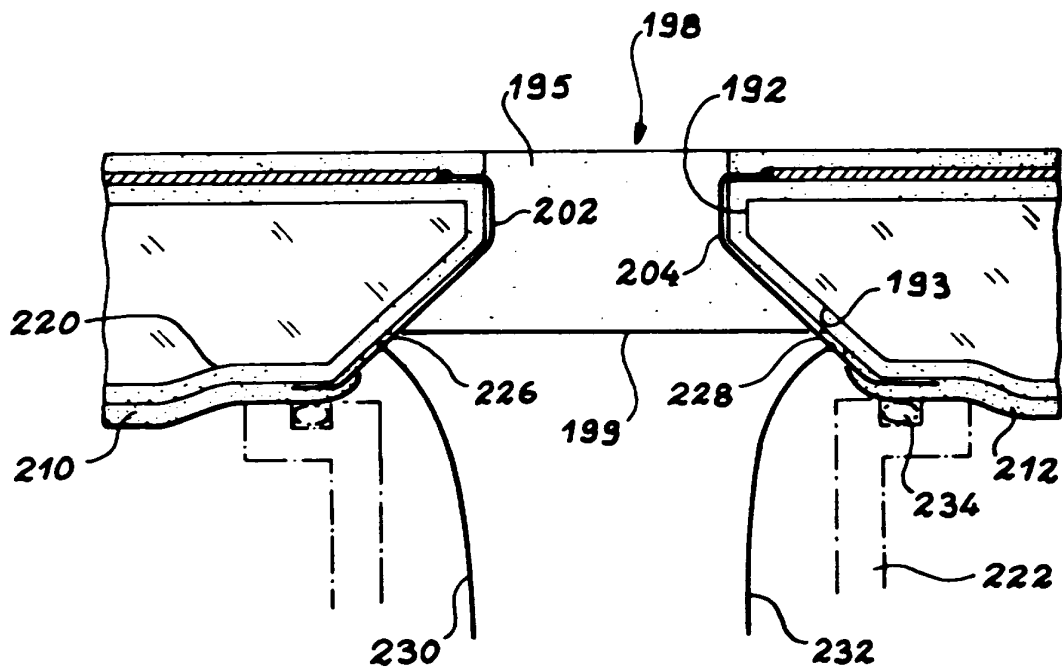


FIG. 17 b

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
X	GB-A-2 130 380 (TELECO OILFIELD SERVICES INC) 31 Mai 1984 * page 1, ligne 81 - ligne 97 *	1,2,5,6, 31,32
Y	* page 2, ligne 26 - ligne 49 * ----	9-12, 34-37
X	EP-A-0 327 422 (INST FRANCAIS DU PETROL) 9 Août 1989 * colonne 11, ligne 48 - ligne 52 *	1,6
Y	US-A-4 666 733 (WLODEK STANLEY T) 19 Mai 1987 * revendications *	9-12, 34-37
A	GB-A-2 253 908 (HALLIBURTON LOGGING SERVICES) 23 Septembre 1992 * page 6, ligne 31 - page 7, ligne 10 *	1-5
A	US-A-5 235 285 (CLARK BRIAN ET AL) 10 Août 1993 * colonne 8, ligne 57 - colonne 9, ligne 28 *	10,18
A	US-A-4 997 044 (STACK WALTER E) 5 Mars 1991 * colonne 5, ligne 55 - ligne 57 *	10
A	US-A-4 602 690 (STEIGER RONALD P) 29 Juillet 1986 * colonne 4, ligne 26 - ligne 34; figures 4B,5B *	2-5
		<b>DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.CL.6)</b>
		G01V
<b>Date d'achèvement de la recherche</b>		<b>Examineur</b>
1 Septembre 1995		Swartjes, H
<b>CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES</b>		
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		I : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons ----- & : membre de la même famille, document correspondant