(19) Octrooiraad Nederland

(11) 194519

(12) C OCTROOI

(21) Aanvrage om octrooi: 9500554

(22) Ingediend: 22.03.1995

(51) Int.Cl.[7] G01V1/52

(30) Voorrang:
22.03.1994 US 0000216648

(43) Ter inzage gelegd:
01.11.1995 I.E. 1995/18

(44) Openbaargemaakt:
01.02.2002 I.E. 2002/02

(47) Dagtekening:
04.06.2002

(45) Uitgegeven:
01.08.2002 I.E. 2002/08

(73) Octrooihouder(s):
Western Atlas International, Inc. te Houston, Texas, Verenigde Staten van Amerika (US).

(72) Uitvinder(s):
Mathew George Schmidt te Palo Alto, Californië (US)
John Finley Priest te Tomball, Texas (US)

(74) Gemachtigde:
Mr. Ir. A.W. Prins c.s. te 2508 DH Den Haag.

(54) Akoestische sonde voor boorgatonderzoek.

NL C 194519

Akoestische sonde voor boorgatonderzoek

De uitvinding heeft betrekking op een akoestische sonde voor boorgatonderzoek, omvattende: behuizingsmiddelen die een interne kamer definiëren en een akoestisch transparante huissectie hebben; een ringvormig akoestisch transducentarray dat zich bevindt binnen genoemde behuizingsmiddelen nabij genoemde akoestisch transparante huissectie, en omvattende:
een ringvormig ateunelement dat bestaat uit een akoestisch dempend materiaal; een veelvoud van akoestische transducentelementen die zich elk extern bevinden van genoemde ringvormige steunelementen; een veelvoud van elektronische transducentketens die individueel elektrisch zijn gekoppeld met genoemd akoestisch transducentelement; en elektronische zend/ontvangstketens die in controlerende relatie gekoppeld zijn met genoemd veelvoud van elektronische transducentketens.

Een dergelijke sonde is bekend uit het Franse octrooischrift 2.551.222.

De aansturing van het uit het Franse octrooischrift bekende array biedt slechts de mogelijkheid om de transducentelementen in gelijke of tegengestelde fase aan te sturen, waardoor het niet mogelijk is de door het array opgewekte geluidsgolven te focusseren.

De uitvinding heeft tot doel dit nadeel te voorkomen en te voorzien in een akoestische sonde, waarbij een dergelijke focussering wel mogelijk is.

Daarbij is het gewenst om een boorgat-registratieinstrument te verschaffen met een hoge pulssnelheid. Dit doel wordt bij een akoestische sonde van de bovengenoemde soort bereikt, doordat een transformatorblok aanwezig is met daarin bevestigd een veelvoud van transformatoren die elk individueel elektrisch zijn aangesloten tussen de elektronische transducentketens en de individuele akoestische transducentelementen voor elektronische excitatie daarvan, waarbij ten minste een deel van de transformatoren mechanisch afgestemd kan worden.

Door bovengenoemd kenmerk is het mogelijk een geschikte focussering van het array te realiseren, waardoor een betere exploratie van een boorgat mogelijk wordt gemaakt.

De uitvinding zal nader worden toegelicht aan de hand van de tekening. Daarin is:

figuur 1 een schematische illustratie van een werkwijze en apparaat voor bundelbesturing en Besselschaduwen van een conformeel array volgens de leer van de onderhavige uitvinding:

figuur 2 een dwarsdoorsnede van een gedeelte van de akoestische putregistratiesonde van figuur 1, en toont een cilindrisch array met meerdere piëzo-elektrische elementen, opgenomen binnen een sub-huis van de sonde;

figuur 3 een isometrische illustratie van een uit 32 elementen bestaand cilindrisch piëzo-elektrisch array, zoals is opgenomen binnen het sub-huis van de sonde van figuur 2.

figuur 4. een uiteengenomen isometrische illustratie vergelijkbaar met die van figuur 3, en illustreert een begintoestand in de vervaardiging van een in overeenstemming met deze uitvinding geconstrueerd cilindrisch piëzo-elektrisch array met 64 elementen;

figuur 5 een bovenaanzicht van het uit 64 elementen bestaande array van de figuur 4 en 6;

figuur 6 een isometrische illustratie van een uit 64 elementen bestaand piëzo-elektrisch array bij voltooiing van het vervaardigingsproces daarvoor;

figuur 7 een bovenaanzicht van een piëzo-elektrisch transducent array dat de onderhavige uitvinding belichaamt en is voorzien van piëzo-elektrische transducenten van ongelijke afmeting;

figuur 8 een isometrische illustratie die vergelijkbaar is met die van de figuur 3 en 6 en een gebogen piëzo-elektrisch array toont;

figuur 9 een dwarsdoorsnede volgens de lijn 9–9 van figuur 8;

figuur 10 een isometrische illustratie van een cilindrisch piëzo-elektrisch array, dat zich bevindt binnen een in het algemeen cilindrisch akoestisch raam, voorzien van een mechanische focusseermogelijkheid;

figuur 11 een doorsnede langs de lijn 11–11 van figuur 10;

figuur 12 een doorsnede langs de lijn 12–12 van figuur 11;

figuur 13 een isometrische illustratie van een in het algemeen cilindrisch piëzo-elektrisch akoestisch array, waarin zijn opgemomen gestapelde circulair georiënteerde stralers van piëzo-elektrische elementen die zijn opgesteld rondom een achtergrond substraat;

figuur 14 een isometrische illustratie van een convex gekromd array van piëzo-elektrische elementen die zijn opgesteld voor het verschaffen van een array van convexe configuratie voor het doel van mechanische focussering;

figuur 15 een isometrische illustratie van een in het algemeen kegelvormig piëzo-elektrisch array, dat meerdere piëzo-elektrische elementen heeft, welke zijn opgesteld om een uitwendige vorm van conische

configuratie te bieden;

figuur 16 is een isometrische illustratie die een taps convex gekromd piëzo-elektrisch array met uiteinden van verschillende afmetingen toont;

figuur 17 is een isometrische illustratie die een veelvoud toont van piëzo-elektrische elementen opgesteld in een in zijn algemeenheid conische configuratie, waarbij de grotere afmeting het bovenuiteinde van het array definieert;

figuur 18 een isometrische illustratie die een piëzoelektrisch array toont, dat is geconstrueerd in overeenstemming met deze uitvinding, en is voorzien van gekromde boven- en ondertussenvlakken, die op afstand van elkaar worden gehouden door een in zijn algemeenheid cilindrische sectie en een array concept definiëren met focusseren als doel;

figuur 19 een isometrische illustratie van een piëzoelektrisch array, dat is geconstrueerd in overeenstemming met de onderhavige uitvinding en dat een veelvoud van stralers van piëzo-elektrische elementen heeft, elk in de vorm van een octagon;

figuur 20 een bovenaanzicht van het piëzo-elektrische array van figuur 19;

figuur 21 een isometrische illustratie van een piëzoelektrisch array dat een veelvoud van stralers van piëzoelektrische elementen heeft, die een achtzijdige arraystructuur definiëren, welke conventioneel gekromde externe signaalfocusserende oppervlakken bieden;

figuur 22 een bovenaanzicht van het piëzo-elektrische array van figuur 21;

figuur 23 is een uiteengenomen isometrische illustratie van een transformatorblok dat meerdere transformatoren heeft en gebruikt kan worden zoals getoond in figuur 4;

figuur 24 een doorsnede langs de lijn 24–24 van figuur 23;

figuur 25. een gedeeltelijke doorsnede van een transformator, die kan worden afgestemd;

figuur 26 een bovenaanzicht van een transformatorblok, vergelijkbaar met dat van figuur 4.

Thans verwijzend naar de tekening, en eerst naar figuur 1, wordt met het verwijzingscijfer 10 in het algemeen de gegevens-zendende en gegevens-ontvangende systemen aangeduid voor een akoestische boorgatregistratiesonde voor een omlaag gericht gat. De akoestische boorgatregistratie sonde is in zijn algemeenheid aangeduid met het verwijzingscijfer 12, en wordt in zijn algemeenheid gedefinieerd door een sondebehuizing 14, die een akoestisch transparante sectie of "raam"-sectie 16 heeft, waardoor akoestische signalen worden gezonden naar de boorgatwand 18 en de door het boorgat doorkruiste, omgevende aardformatie 20 in. Zoals getoond, wordt de sonde 12 ondersteund door een draadlijnkabel 22 die zich rond kabelschijven 24 en 26 uitstrekt naar een kabeltrommel 28. De elektrische geleiders 30 van de draadlijnkabel verschaffen een gegevensoverdrachtkoppeling met een ontvangstsysteem 32 en een data-acquisitie systeem 34. Het data-acquisitie systeem is voorzien van een uitgang 36, waarmee een data-registratie systeem zoals een bandsysteem 38 is gekoppeld voor het magnetisch registreren van uitgangssignalen van het acquisitiesysteem, een grafisch systeem 40 voor het verschaffen van een harde kopie van de uitgangssignalen, en een kathode straalbuis 42 voor het verschaffen van een visueel beeld in werkelijke tijd van de door het acquisitie-systeem vergaarde data.

De in een gat neer te laten sonde 12 omvat in zijn inwendige elektronische ketens en een array 44 van akoestische transducenten, waarvan een voorkeursuitvoeringsvorm is getoond in de figuur 3 en 4 t/m 6. Het transducentarray 44 is voorzien van een veelvoud van array-schakelaars 46, die zijn gekoppeld met array-ontvangers 48 en array-zenders 50 onder besturing van een array-tempeerketen 52. De uitgangssignalen van de array-zenders 50 worden bewerkt door een amplitude/ontvangstbesturing 54 onder de besturing van een signaalprocessor 56. De uitgangssignalen van de arrayontvangers worden dan bewerkt door analoog-naar-digitaal omzetketens 58, zodat aan een array-geheugenketen 60 een gedigitaliseerd array-ontvangstsignaal wordt verschaft. De gegevens uit het array-geheugen 60 worden verwerkt door n array-processoren 62 en verschaft aan een ingangsbuffer 63 en aan de signaalprocessor 56. Het uitgangssignaal van de signaalprocessor 56 wordt verschaft aan een uitgangsbuffer 64, dat gecontroleerde datatransmissie van een datatransmissieketen 66 mogelijk maakt, welke data verschaft aan de ontvangstsysteemketen 32.

De schakeling van figuur 1 staat toe, dat elk van de vele akoestische zenders van het zendarray 44 één voor één vuren in een gecontroleerde sequentie voor transmissie van akoestische signalen vanaf de sonde naar de boorgatwand en de formatie in.

De array-tempeerketen 52 laat ook tijd-bestuurde ontvangst toe van akoestische reflecties van de omgevende formatie. De array-tempeerketen 52 samen met de signaalprocessor 56 voorziet ook de in het gat neer te laten sonde met de mogelijkheid tot het verschaffen van directioneel gecontroleerde of gefocusseerde akoestische signalen voor bundelsturing en Bessel-schaduwen van het conformele array.

Onder thans verwijzen naar figuur 2, welke een dwarsdoorsnede is die een gedeelte van de sonde 12 illustreert, definieert de sondebehuizing 14 zoals boven genoemd een inwendig van schroefdraad voorziene contrasteker 68, welke het uitwendig van schroefdraad voorziene uiteinde 70 ontvangt van een langwerpig connectorgedeelte 72 van een behuizing connectorsubstelsel 74. De langwerpige behuizingconnector 72 definieert een inwendige boring 76, welke een droge door-draaddoorlaat definieert voor meerdere elektrische geleiders, die individueel verbonden zijn met piëzo-elektrische elementen van het array, zoals in het hiernavolgende zal worden beschreven.

Het connector-uitsteeksel 72 is afgedicht ten opzichte van de huissectie 78 van de behuizing 14 door cirkelvormige afdichtingen 80, welke zijn opgenomen binnen respectieve afdichtgroeven van het connector-uitsteeksel.

De lengte van het connectoruitsteeksel werkt samen met de huissectie 78 om een ringvormige uitsparing of ontvangstbak ("receptacle") 82 te definiëren, welke wordt afgesloten door een ringvormig, mechanisch gefocusseerd, akoestisch transparant venster 84, dat is voorzien van een tussenfocusseersectie 86 met een concave kromming. Het focusseervenster 84 is afgedicht ten opzichte van de huissecties 78 en 74 door middel van cirkelvormige afdichtingen 88 en 90 die zijn opgenomen binnen respectieve ringvormige afdichtgroeven van de huissecties. Hoewel het akoestisch transparante venster 84 een gekromde sectie heeft om akoestische signalen die door de rechte transducenten worden uitgezonden, mechanisch te focusseren, dient men in gedachten te houden dat de transducenten zelf gekromd kunnen zijn om signaalfocussering te bereiken, en het venster kan van de niet-focusserende soort zijn. Binnen de ringvormige uitsparing of ontvangstbak 82 bevindt zich een ringvormig steungedeelte 92 dat wordt omgeven door een veelvoud van piëzo-elektrische elementen 94 met in hoofdzaak gelijke onderlinge afstand, welke gescheiden kunnen zijn van het steungedeelte of desgewenst aan het steungedeelte bevestigd kunnen zijn. Binnen de uitsparing of ontvangstbak 82 bevindt zich een connectorblok 96 dat is voorzien van een veelvoud van connectorpennen 98 die zich uitstrekken door respectieve doorlaten van de huissectie 74, waarbij eindgedeelten daarvan blootliggen voor verbinding binnen een conventionele en niet weergegeven busconnector. Elk van de connectorpennen 98 is door een elektrische geleider gekoppeld met, een individueel piëzo-elektrisch element 94 en is ingericht om afvuurpulsen te geleiden naar het respectieve piëzoelektrische element om dat te exciteren, en voor het geleiden van gereflecteerde akoestische signalen vanaf de piëzoelektrische elementen voor verwerking door de schakeling van figuur 1 samen met acquisitie van akoestische gegevens die de omgeving van de formatie onder in het gat representeren.

Thans wordt verwezen naar figuur 3, waar een isometrische illustratie van een uit 32 elementen bestaand cilindrisch array wordt geïllustreerd dat representatief is voor de piëzoelektrische arraymodule van figuur 2. Een akoestisch verzwakkende steunsectie 92 bestaat bij voorkeur uit een geschikte elastomeer gevuld met metaalschaafsel van hoge dichtheid, zoals wolfraamschaafsel. De steunsectie 92 is gekozen om bij voorkeur een akoestische verzwakking van ongeveer 30 db/cm te verschaffen, en verschaft, wanneer het gevuld is met het wolfraamschaafsel van hoge dichtheid, een akoestische impedantie van ongeveer 13,3 mega-rayls, MKS. Dit is een gewenste impedantie-aanpassing voor de meervoudige piëzo-elektrische transducentelementen die kunnen bestaan uit lood-metaniobaat keramiek met een akoestische impedantie van 21,7 mega-rayls, MKS, aangezien een verhouding van 2 : 1 gewenst is. In de voorkeursuitvoeringsvorm is de arraytransducent ingebed in een module met een hoge structurele sterkte, welke akoestisch transparant is (venster) bij het buitenzendvlak van het array, en akoestisch verzwakkend op het binnenvlak (steungedeelte) van het array. De module dient bestand te zijn tegen drukken van 20 kpsi, en temperaturen van ongeveer 200°C, zonder belangrijke radiale deformatie ten gevolge van de door de drukomgeving gecreëerde compressiekrachten. De akoestische eigenschappen van het buitenvlak dienen voldoende dikte in het venster toe te laten om de radiale compressiesterkte te verschaffen, bij een dikte van 1/4 van een golflengte van de primaire component van uitgezonden frequentie. De module dient hermetisch afgedicht te zijn en compatibel met de roestvrij stalen en/of titanium componenten waaraan deze is bevestigd. Het buitenvlak van de module moet resistent zijn tegen de corroderende omgevingen welke gewoon zijn in de draadlijnindustrie. De thermische expansiecoëfficiënt van het modulemateriaal dient zo dicht mogelijk de thermische expansie-eigenschappen van de transducenten te benaderen. Het meervoudige transducentarray, incl. zijn akoestisch transparante venster, kan een integrale eenheid zijn welke wordt vastgehouden door de huisstructuur en ten opzichte van de behuizing afgedicht door O-ringen of andere geschikte afdichtelementen. Om het transducentarray in staat te stellen de hydrostatische drukcondities die typisch zullen zijn voor diepe putten, te weerstaan, zal het transducentarray zijn omwikkeld met een koolstofvezelmateriaal, zodat de koolstofvezels daarvan structurele weerstand tegen radiale compressie zullen toevoegen. De resulterende ringvormige transducentarraystructuur kan dan eenvoudig worden geïnstalleerd binnen de behuizing van een in een gat neer te laten registratiesonde door een eenvoudige "plug in" constructie.

Dit kenmerk zou het mogelijk maken dat het transducentarraypakket gemakkelijk en efficiënt wordt uitgewisseld, zelfs onder veldomstandigheden in het geval dat zo iets geschikt zou worden.

Een voorkeursuitvoeringsvorm van de structuur van het array-monteermateriaal voor de module is een koolstofcomposietmateriaal, dat is ontworpen om akoestisch transparant te zijn bij het vensteroppervlak, en "beladen" met (wolfraam of andere materialen), poeder en schaafsel op de rug van de transducent om akoestische demping te verschaffen. Het koolstofcomposietmateriaal kan gemetalliseerd zijn met een dun corrosiebestendig metaal, met voldoende dikte voor het voorkomen van een ten gevolge van normaal schrapen en slijtage optredend verlies aan hermiticiteit. Het metallisatiemateriaal kan gekozen worden om periodieke her-metallisatie toe te laten.

In een alternatieve uitvoeringsvorm van de bovengenoemde montagestructuur kunnen keramische materialen in plaats van koolstofcomposiet gebruikt worden.

De piëzo-elektrische transducent elementen 94 worden bij voorkeur vervaardigd van loodmetaniobaat; voor andere werkfrequenties kunnen echter andere, transducente materialen worden gebruikt, zoals bijvoorbeeld (niet beperkend) lood, zirkonaat, titanaat (alle vormen), bariumtitanaat, lithiumsulfaat, kwarts, lithiumniobaat, en PVDP. De ruimte 96 tussen de elementen zoals getoond in figuur 3 zal gevuld zijn met akoestisch dempende materialen, zoals bijvoorbeeld (niet beperkend) met wolfraampoeder beladen epoxy, met wolfraampoeder beladen koolstofcomposiet, en met wolfraampoeder beladen keramieken. Met achterwaartse en inter-elementverzwakking worden de akoestische pulsen unidirectioneel uitgezonden vanaf het array in de radiaal naar buiten gerichte richting. De draagstructuren, verzwakking en venstersystemen zullen ontworpen zijn om elektrische kortsluiting tussen array elementen te voorkomen.

Het nominale werkfrequentiebereik van het piëzoelektrische array dat de voorkeursuitvoeringsvorm representeert, zal gelegen zijn in het gebied van 200-500 kHz.

Andere toepassingen kunnen frequenties omvatten die veel lager zijn (10 kHz) of veel hoger zijn (enkele MHz). Voor beeldaftasting van een putboring, of evaluatie van de bekleding/cement, zal de voorkeurs-uitvoeringsvorm de vorm aannemen van een mechanisch verticaal gefocusseerd, orthogonaal aftastarray van 32-128 elementen, werkend bij een frequentie van ongeveer 250 kHz. Voor beeldaftasting van een putboring kan een verticale uitvoeringsvorm met hoge resolutie de voorkeur verdienen. Dit array zal mechanisch gefocusseerd zijn in de horizontale richting, en gefocusseerd en afgetast in de verticale richting. Een voorkeursuitvoeringsvorm zou acht horizontaal gefocusseerde elementen hebben op elk van de acht vlakken van een octogonaal parallellopipedum. Deze modus laat een verticale aftasting met hoge resolutie toe.

Voor volumetrische procedures achter de bekleding zal de voorkeursuitvoeringsvorm typisch de vorm aannemen van een mechanisch verticaal gefocusseerd, horizontaal aftastend conisch array van 32 tot 128 elementen welke ontworpen zijn om in te vallen op de boorgatwand bij een hoek van ongeveer 10° tot 35° en bij voorkeur ongeveer 20°. Voor volumetrische fluïdumprocedures kan een voorkeursuitvoeringsvorm de vorm aannemen van biconische tweevoudige array-uitvoeringsvormen.

Dit bi-conisch tweevoudig array zal tegengesteld gerichte, conische array-secties hebben welke gescheiden kunnen zijn door een tussengelegen "spacer". Desgewenst kan de tussengelegen "spacer" gemakshalve de vorm aannemen van een cilindrisch transducentarray van het algemene karakter zoals aangeduid in de figuren 4 t/m 6. De toppen van de konische arrays zullen naar elkaar toe wijzen. De voorkeur genietende array-uitvoeringsvorm voor dit kenmerk is het mechanisch verticaal gefocusseerde, orthogonaal aftastende array. De ruimte tussen de array-elementen zal ontworpen zijn om toe te laten dat reflecties van de putboring, bekleding of pijp worden ontvangen op het andere array. Uitwisselbare "spacers" zullen verschaft worden om het gebruik toe te laten in putboringen, bekledingen en pijp van diverse diameters.

Een andere uitvoeringsvorm van de uitvinding voor volumetrisch aftasten kan gemakshalve de vorm aannemen van een biconisch tweevoudig array zoals weergegeven in figuur 18, met gebogen of taps toelopende, afgeknot-kegelvormige uiteinden, behalve dat het array mechanisch gefocusseerd zal zijn in de horizontale positie, en elektronisch gefocusseerd en afgetast in de verticale richting. Het wordt voorzien dat deze uitvoeringsvorm acht horizontaal gefocusseerde elementen zou hebben op elk van de acht vlakken van een octogonale "kegel".

Een andere uitvoeringsvorm bestaat uit een volledig aftastarray, met elektronische focussering en besturing in beide horizontale richtingen. Dit array van conische variaties zou gebruikt kunnen worden in alle. bovengenoemde toepassingen.

Extra uitvoeringsvormen omvatten synthetische meervoudige zenders en ontvangers. Bijvoorbeeld zou een octagonale opstelling van orthogonaal gefocusseerde, verticaal bestuurde array-elementen ontworpen kunnen worden om alle elementen rondom het octagon parallel te vuren, en daarbij verticaal bestuurde,

monopool, dipool, gekruiste dipool, gesegmenteerde dipool, quadrapool, gekruiste quadrapool, octapool akoestische stralingsvelden, en combinatiemodi, te creëren. De ontvanger van de akoestische signalen zou het zendende array in een puls-echomodus kunnen zijn, of een tweede array zou geconfigureerd kunnen zijn om de pulsechosignalen te ontvangen. Een ander alternatief voor het puls-echosysteem is continue golftransmissie met een tweede ontvanger.

Directe metingen van formatiedichtheid onder gebruikmaking van bi-conische arrays kunnen de volgende algemene vormen aannemen:

ARRAY-ELEKTRONICA:

Zender:

De array-zenders 50 bestaan uit piëzo-elektrische elementen, inductors, afsteminductors, transformatoren, multiplexers, aandrijfelektronica en spanningsbesturingselektronica.

Array-drijver:

De array-drijvers zijn ontworpen onder gebruikmaking van conventionele pulsecho- of continue golf piëzo-elektrische drijvers, met ten minste één drijver per actief element, en zo veel als één drijver per element. Onder gebruikmaking van conventionele multiplextechnieken kan het aantal drijvers geminimaliseerd worden. De aandrijfpulsen zullen gevormd worden om harmonische vervorming in de akoestische pulsgolfvorm te minimaliseren, en om excitatie van ongewenste harmonische modi binnen het transducentelement te minimaliseren. Typische pulsvorming zal zijn (niet beperkend) half-sinusvormige, enkelvoudige pulsen, tot meervoudige halve perioden van een sinusgolf.

Het vermogen van het puls-echosignaal kan vergroot worden door gebruik te maken van meerdere vuurpulsen met een pulsfrequentie gelijk aan de karakteristieke frequentie van de transducent. De pulsen die de transducent aandrijven, kunnen unipolair of bi-polair zijn. De uitgangstrappen van de versterker kunnen ook "push-pull" zijn.

Array-transformator:

De array-drijvers zijn verbonden met elk transducent element door middel van transformatoren, inductors en afsteminductors.

In een voorkeursuitvoeringsvorm is een array van transformatoren, inductors en afsteminductors vervaardigd uit een enkel ferrietsubstraat, waarbij een module wordt gecreëerd die één transformator, één inductor en één afsteminductor per arrayelement bevat. De array-transformator kan zijn onderverdeeld in kleinere subgroepen, zoals gewenst door ruimtelijke geometriebeperkingen en magnetische elementgrootten. De voorkeursuitvoeringsvorm van de array-transformatoren zou de magnetische componenten plaatsen in een cirkelvormige ring met een buitendiameter gelijk aan de diameter van het array, en een binnendiameter ongeveer gelijk aan de binnendiameter van het array. Als de grootte van de magnetische elementen te groot zou zijn voor deze opstelling, zouden alternatieve uitvoeringsvormen toelaten dat de ringen worden geplaatst op beide uiteinden van het array, en optioneel zouden meervoudige ringen gebruikt kunnen worden. De inductor- en afstemelementen zijn gewenst om de respons op het aandrijfsignaal te optimaliseren.

Een alternatieve en de voorkeur verdienende arraytransformator zou een rechtlijnig array zijn van ongeveer 2,5 cm bij 2,5 cm. De werkelijke grootte zal afhangen van het gekozen ferriet en het gedetailleerde ontwerp van de transformator, de inductor en de afsteminductor.

Afstemmen:

Het array zal elektrisch worden afgestemd door de combinatie van de inductanties in de koppeltransformator, een gefixeerde inductor en een afsteminductor. De arraytransformatoren, inductor en afstemelementen zullen ontworpen zijn om toe te laten dat het array en de transformatoren, gefixeerde inductor en afsteminductor als een eenheid worden verwijderd, waardoor vervanging van een transducent zonder opnieuw afstemmen mogelijk wordt gemaakt.

Controle van de zendamplitude:

De vuurspanning voor elk element kan variabel zijn en bestuurd door de elektronica. De vuurspanning zal bestuurd worden door conventionele spannings-besturingselektronica.

Element-schaduwen:

Elektronisch schaduwen zal verschaft worden door elke array-elementaandrijfspanning variabel te maken,

en aldus zijlob-onderdrukking mogelijk te maken onder gebruikmaking van bijvoorbeeld (niet beperkend) Bessel-schaduwen, cosinusschaduwen, of Gaussisch-schaduwen. Het schaduwen wordt tot stand gebracht door de vuurspanning op elk element van het array aan te passen door het verminderen van de aandrijfspanning (ten opzichte van het centrale element, als het aantal actieve elementen oneven is, of ten opzichte van het centrale paar als het aantal elementen even is). Na elk element volgens de door de gekozen schaduwtechniek beschreven funktie en de afstand van het element ten opzichte van de centrale piek. Het schaduwen in het geval van Bessel- of cosinus-schaduwen kan omvatten het schaduwen vanaf de centrale piek na de eerste nul, of naar buiten naar meerdere nullen en pieken.

Transmissie-tempeerbesturing:
Elektronische focussering en sturing zal verschaft worden door conventionele array-tempeertechnologie.

Ontvanger:
De array-zenders bestaan uit piëzo-elektrische elementen, inductors, afsteminductors, transformatoren, multiplexers, en elektronische versterkers en versterkingsfactor besturingselektronica en analoog-naar-digitaal-omzetters.

Array-ontvanger:
De array-ontvangers zijn ontworpen onder gebruikmaking van conventionele puls-echo of continue golfpiëzo-elektrische ontvangers, met ten minste één ontvanger per actief element, en zoveel als één ontvanger per element. Onder gebruikmaking van conventionele multiplextechnieken kan het aantal drijvers geminimaliseerd worden. Het filteren zal tot stand worden gebracht door gebruikmaking van conventionele, actieve, elektronische filters.

Besturing van de versterkingsfactor in de ontvanger:
De versterkingsfactor zal selecteerbaar zijn onder gebruikmaking van conventionele elektronika voor variabele versterkingsfactor.

Element-schaduwen:
De versterkingsfactoren van de ontvangstelementen kunnen worden aangepast onder gebruikmaking van technieken voor variabele versterkingsfactor onder gebruikmaking van conventionele elektronica. Het schaduwen zal gebruik maken van Bessel-schaduwen, cosinus-schaduwen, of Gaussisch-schaduwen zoals in het bovenstaande beschreven in verband met de transmissie-sectie.

Tempeerbesturing in de ontvanger:
Elektronisch focusseren en sturen zal verschaft worden door conventionele array-tempeertechnologie.

Dynamische transducentdemping:
Dynamische transducentdemping zal tot stand worden gebracht door het verschaffen van een terugkoppelaandrijfsysteem om de harmonische beweging van de transducent op te heffen, door het aandrijven van de transducent voor het opheffen van door de oscillatie van de transducent gegenereerde beweging. Het terugkoppel-uitgangssignaal kan ook worden gebruikt als een oppiksignaal van de ontvanger. Het terugkoppelsignaal zal te allen tijde een nul-spanning handhaven op de transducente elektroden, behalve voor de vuurpuls. De elektronica zal ontworpen zijn voor het voorkomen van overspannings-condities op de ontvangstsectie van de arrayelektronica, en om maximale toepassing van aandrijfspannings-vermogen toe te laten.

In het geval van vuursequenties voor meervoudige pulstransducenten, zal het volgende worden gebruikt in samenhang met de bovenbeschreven terugkoppeltechniek: volgend op de activeringspulsreeksen zal een aangrenzende pulsreeks van gelijke lengte of minder, 180° uit fase met de activeringspulsreeks, de transducent aandrijven. Het optimale aantal van uit-fasesignalen voor het verschaffen van actieve demping zal voor het array volgend op fabricatie worden bepaald. Het doel van de actieve demping is het verminderen van de transducent aanslagspanning in het besturingsbereik van de bovenbeschreven actieve terugkoppelelektronica.

Array-processoren:
De array-elektronica zal een aantal toegewezen signaalprocessoren van conventioneel ontwerp omvatten voor het in werkelijke tijd verwerken van de array-gegevens met hoge gegevenssnelheid.

Signaal-reconstructie:

In de array-elektronica kan gebruik worden gemaakt van een uniek werkelijke- tijdsignaalverwerkings-algorithme. Deze techniek vereist het individueel vuren van elk element, en het ontvangen van de pulsecho van het signaal gelijktijdig op de gekozen actieve array-elementen. Het ontvangstsignaal wordt mathematisch gereconstrueerd in de array-processoren door de juiste tempeer-verschuivingen en versterkings-aanpassingen toe te passen. In deze techniek zou bijvoorbeeld bij een array van 64 verticale elementen elk element éénmaal gevuurd worden voor het produceren van 64 zenddatasets per omwenteling. Elke dataset zou de resultaten bevatten van de analoog-naar digitaal-omzetting van het op elk ontvangstelement ontvangen puls-echosignaal. Indien bijvoorbeeld 8 ontvangstelementen actief zouden zijn, zouden er 8 gedigitaliseerde puls-echo golfvormen zijn voor elk van de 64 ontvangers in het array, of 512 datasets per omwenteling. Het signaal wordt gereconstrueerd in de volgende methode. Elke puls-echo signatuur wordt digitaal in fase verschoven naar de juiste tempering zoals berekend voor focussering en sturing en compensatie van reistijd met fluïdumsnelheid en een versterkingsfactorterm wordt gegenereerd voor elke pulsechosignatuur zoals berekend door de schaduwtechniek en compensatie voor de fluïdumverzwakking. Elk datapunt in de signatuur wordt vermenigvuldigd met zijn juiste versterkingsfactor (of verzwakkingsfactor). De array signatuur wordt dan opgebouwd door de in fase en versterking aangepaste signaturen van elke elementcombinatie van vurende en ontvangende elementen op te tellen. Het aantal signaturen dat beschikbaar is voor deze reconstructie is N in het kwadraat, waarbij N het aantal actieve elementen is voor het gefaseerde array. Dit dient te resulteren in een signaalverbetering van tot 20 * log (N^2) dB; voor N gelijk aan 8 is dit 36 dB en een signaal/ruis-verbetering van 20 * log (N^2) Db, voor N gelijk aan 8 is dit 18 Db. De onderstaande tabel illustreert voor 8 actieve elementen de zend/ontvangst-combinaties die gebruikt kunnen worden voor het reconstrueren van de golfvorm. Elke Xij is een array van M monsters van signatuurdata. Het aantal monsters in de signatuur zal afhangen van de karakteristieke frequentie en monstersnelheden van de analoog-naar-digitaalomzetters zoals aangeduid door het volgende voorbeeld:

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	TB
R1	XII	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18
R2	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28
R3	X31	X32	X33	X34	X35	X36	X37	X38
R4	X41	X42	X43	X44	X45	X46	X47	X48
R5	X51	X52	X53	X54	X55	X56	X57	X58
R6	X61	X62	X63	X64	X65	X66	X67	X68
R7	X71	X72	X73	X74	X75	X76	X77	X78
RB	XBI	XB2	XB3	XB4	XB5	XB6	XB7	XBB

Een weegarray kan ontwikkeld worden voor het compenseren van schaduwen en signaalverzwakking ten gevolge van verschillende baanlengten van elk van de signalen, zoals aangeduid door het volgende:

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	TB
R1	WII	W12	W13	W14	W15	W16	W17	W18
R2	W21	W22	W23	W24	W25	W26	W27	W28
R3	W31	W32	W33	W34	W35	W36	W37	W38
R4	W41	W42	W43	W44	W45	W46	W47	W48
R5	W51	W52	W53	W54	W55	W56	W57	W58
R6	W61	W62	W63	W64	W65	W66	W67	W68
R7	W71	W72	W73	W74	W75	W76	W77	W78
RB	WBI	WB2	WB3	WB4	WB5	WB6	WB7	WBB

Het weegarray wordt vermenigvuldigd op een signatuurvoor-signatuur basis, hetgeen het volgende productarray levert:

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	TB
R1	WIIXII	W12X12	W13X13	W14X14	W15X15	W16X16	W17X17	WIBXIB
R2	W21X21	W22X22	W23X23	W24X24	W25X25	W26X26	W27X27	W28X28
R3	W31X31	W32X32	W33X33	W34X34	W35X35	W36X36	W37X37	W38X38
R4	W41X41	W42X42	W43X43	W44X44	W45X45	W46X46	W47X47	W48X48
R5	W51X51	W52X52	W53X53	W54X54	W55X55	W56X56	W57X57	W58X58

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	TB
R1	WIIXII	W12X12	W13X13	W14X14	W15X15	W16X16	W17X17	WIBXIB
R6	W61X61	W62X62	W63X63	W64X64	W65X65	W66X66	W67X67	W68X68
R7	W71X71	W72X72	W73X73	W74X74	W75X75	W76X76	W77X77	W78X78
RB	WBIXBI	WB2XB2	WB3XB3	WB4XB4	WB5XB5	WB6XB6	WB7XB7	WBBXBB

Elk van de weegfactoren is een combinatie van het gewenste schaduwen voor elk zend/ontvangst-paar, de variaties in signaalsterkte ten gevolge van de verschillende baanlengten en resulterende verzwakking in de propagatiemedia, en bepaalde geometrische overwegingen. Eén van de geometrische overwegingen is de "directe" reflectiebaan van de transducent naar zichzelf. Voor elementen die zich nabij het centrum van het array bevinden, kan de directie reflectiebaan gewenst zijn, terwijl voor elementen die zich op afstand bevinden van het array centrum, de directe reflectiebaan ongewenste en ongewilde directie reflecties kan produceren. Evenzo kunnen naburige elementen nabij het centrum gewenste reflectiebanen hebben, terwijl die paren die zich op enige afstand van het centrum bevinden, ongewenste reflectiepaden kunnen produceren.

Uit geometrische overwegingen hebben elementen langs de diagonaal (Wii) in het algemeen gewenste reflectiepaden tenzij zij zich nabij het centrum van het array bevinden, terwijl de elementen op de anti-diagonaal (Wi, 9-i) alle gewenste reflectiepaden hebben. Elementen nabij de anti-diagonaal zijn meer gewenst dan die welke zich verder weg bevinden. Als de afstand wordt berekend vanaf geometrisch doelcentrum voor elk direct reflectiepunt voor elk array paar naar het gewenste brandpunt van het array, kan de berekende afstand worden gebruikt om het geometrisch wegen voor elk zend/ontvangst-paar te berekenen. Indien bijvoorbeeld het energieprofiel van de gefocusseerde bundel loodrecht op de bundel, bij het doelpunt, een Gaussisch profiel zou volgen, waarbij de piek van de Gauss-curve zich bij het brandpunt bevindt, dan zou een Gaussische weegverdeling kunnen worden toegepast op het weegarray om ongewenste directe reflecties van elk element te reduceren. Bijvoorbeeld zou het volgende geometrisch wegen gebruikt kunnen worden:

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	TB
R1	0	.1	.2	.4	.6	.8	.9	1
R2	.1	.2	.4	.6	.8	.9	1	.8
R3	.2	.4	.6	.8	.9	1	.9	.8
R4	.4	.6	.8	.9	1	.9	.8	.6
R5	.6	.8	.9	1	.9	.8	.6	.4
R6	.6	.9	1	.9	.8	.6	.4	.2
R7	.9	1	.9	.8	.6	.4	.2	.1
RB	1	.9	.8	.6	.4	.2	.1	0

De benadering is het verminderen van de amplitude van gereflecteerde signalen buiten de gewenste brandpuntgrootte door het wegen van deze reflecties te verminderen. Het wegen kan Gaussisch zijn, maar is niet beperkt tot Gaussische weegverdelingen.

Dynamische signatuurcompensatie voor de zendkarakteristiek, pulsechomodus:

Aangezien de karakteristieke signatuur van een akoestische zender zeer herhaalbaar is, ook al kan dit gecompliceerd zijn, is dynamische signatuurcompensatie voor de transducentkarakteristiek realiseerbaar, zelfs in de aanwezigheid van diverse signalen. Aangezien de bijdrage van pulsecho in elk werkelijk meetsysteem tijdvariabel is in amplitude en fase, zal het gemiddelde over een voldoend aantal pulsecho-signalen een dataset produceren met een gemiddelde van 0 en een lage variantie. Teneinde te compenseren voor door de zender geactiveerde akoestische signalen die geen terugkeerecho zijn, moet de signatuur voor elke zender worden bepaald. Elke signatuur of golfvorm wordt berekend uit een set van N vuringen van enkelvoudige transducentelementen welke simultaan worden ontvangen op N afzonderlijke transducentketens. Wanneer bijvoorbeeld elk van de 64 transducenten van een akoestisch transducentarray wordt gevuurd, zullen 8 van de transducenten zich bevinden in een ontvangstmodus zodat meervoudige signalen worden ontvangen bij het vuren van elke transducent. Deze meervoudige signalen worden dan elektronisch verwerkt.

De signatuur voor een gegeven arrayvuurpositie wordt bepaald door de superpositie van deze N2 enkelvoudige elementsignaturen, waarbij elke signatuur wordt vertraagd door de juiste vertraging voor focussering en sturing, zodat de uitgangsgolfvorm wordt beschreven door

$$O_i = \sum_{j=1}^{N} \sum_{k=1}^{N} {}^{x}\, x(i+\delta_{j,k}),\, j,k \,{}^{*}W_{j,k}{}^{*}g_{j,k}$$

waarin $\delta_{j,k}$ de vertraging is (gekwantiseerd naar de monstersnelheid van de golfvorm),
$w_{j,k}$ het schaduwgewicht is, en
$g_{j,k}$ de geometrische schaduw is, en

$$O_i = \sum_{j=1}^{N} \sum_{k=1}^{N} {}^{x}\, x(i+\delta_{j,k}),\, j,k \,{}^{*}W_{j,k}$$

waarbij

$$w_{j,k}w_{j,k}\,{}^{*}g_{j,k}$$

De signatuur kan gecompenseerd worden volgens:

$$O_i = \sum_{j=1}^{N} \sum_{k=1}^{N} \{{}^{x}\, x(i+\delta_{j,k}),\, j,k - S_{i,j,k}{}^{*}W_{j,k}{}^{*}G_{j,k}\}$$

waarbij $S_{i,j,k}$ het element-voor-element gemiddelde is van de gedigitaliseerde signatuur van een enkel element.

Als een amplitudeprofiel van een zender, inclusief alle pulsecho-terugkeringen, punt voor punt wordt gedigitaliseerd, opgeslagen en gemiddeld, met een voldoende middelingstijd of gefilterd onder gebruikmaking van een laagfrequent laagdoorlaatfilter, dan zal het overblijvende signaal een goede benadering zijn van de transducentspanning die gemeten zou worden in de afwezigheid van pulsecho. Voor elke transducent in het array welke geactiveerd wordt als zowel een zender en een ontvanger, (of elke transducent in het algemeen), kan de gemiddelde signatuur van de zender worden afgetrokken van de ontvangen golfvorm op een punt voor punt basis, resulterend in een "zuivere" pulsechorespons. Dezelfde compensatietechniek kan gebruikt worden voor het elimeren van signatuuroverspraak tussen zendende elementen en hun buurelementen.

Signatuurprocessor:

De signaalprocessor zal een conventionele signaalprocessor zijn, gebruikmakend van standaard ontwerptechnieken voor een signaalprocessor.

Array-compensatie en -callibratie:

Het array-instrument zal een toegewezen transducent hebben voor het meten van de fluïdumtraagheid en verzwakking.

Het gereedschap zal ontworpen zijn om continu zelf kalibrerend te zijn. Dit zal bereikt worden door in het akoestisch pad een propagatiemedium met gekalibreerde akoestische eigenschappen en geometrie in te brengen. De "callibratie" zal gekallibreerd zijn over temperatuur- en drukvariaties om polynoommodellen voor verbeterde kallibratie mogelijk te maken. De resultaten van deze metingen zullen gebruikt worden om de array-tempering en -amplitudes te compenseren.

Amplitudebesturing:

De signaalprocessor zal de coëfficiënten van de weegmatrix berekenen en zal de coëfficiënten zenden naar de array processoren. De signaalprocessor zal de amplitudebesturingsmatrices aanpassen voor veranderingen in fluïdumverzwakking, en baanlengtevariaties als de stuurtempering veranderingen in baanlengte aanduidt.

Temperingbesturing:

De signaalprocessor dient ook de centrering en excentriciteit van het boorgat te bepalen. De resultaten van de centrering en excentriciteit zullen gebruikt worden om te compenseren voor variaties in signaalamplitude ten gevolge van excentriciteit en centrering, en kunnen gebruikt worden om de gekozen array elementen te modificeren om gebruikt te worden voor het genereren van de putboringscan. Bijvoorbeeld, als het gereedschap zich buiten het centrum bevindt, en het doel-punt bevindt zich niet "voor" het normale array-centrum, zou het array-centrum één of meer elementen verplaatst kunnen worden om de ongewenste effecten van oppervlaktehoeken te minimaliseren.

Array-focussering:

Het brandpunt van het array kan dynamisch worden aangepast door de signaalprocessor op basis van de excentriciteit en buiten-het-centrum berekeningen. De signaalprocessor zal een gemodificeerde tempeer-arrays produceren om gezonden te worden naar de signaalprocessoren, om variaties in afstand naar de doel-punten toe te laten.

Compensatie voor fluïdum in het array-boorgat:

Verzwakking (zelf-kalibreren):

Een toegewezen transducent zal gebruikt worden in pulsechomodus. Hierbij zal gebruik gemaakt worden van conventionele puls-echosignaalgeneratie en ontvangstversterking en digitalisering. Een extra materiaal van bekende gekalibreerde akoestische eigenschappen, verzwakking, dikte en akoestische impedantie kan worden toegevoegd aan de akoestische baan tussen de transducent en een reflectief oppervlak dat is blootgesteld aan het putboring-fluïdum. Door de amplitude van de terugkerende signalen vanaf het vlak van de kallibratieeenheid te meten, evenals het reflectief oppervlak door de putboring-fluïdum en de in de kalibrator en de putboring fluïdum afgelegde afstand, kan de fluïdumverzwakking worden berekend. De kallibratie kan worden uitgevoerd in software in de signaalprocessor en gebruikt voor het compenseren van de signaalamplituden voor elk element in de array-transducent.

Reistijd (zelf-kalibreren):

De zelfde transducent en elektronica als boven beschreven kunnen in puls-echomodus gebruikt worden om de fluïdumsnelheid te meten. Het kalibratorblok van bekende dikte en akoestische snelheid kan gebruikt worden als een referentie voor de tijd van vluchtmetingen in de butboringfluïda. De reistijd naar elk oppervlak in de transducenteenheid zal gemeten worden, en de afstand over de kalibratie-eenheid en de spleet welke is blootgesteld aan de putboringfluïda zal gemeten worden. De in elk medium afgelegde afstanden, en de reistijd zullen gebruikt worden om een gekalibreerde moddersnelheid te verschaffen. De fluïdumtraagheid zal berekend worden in de signaalprocessor en worden toegepast om tempering van de arraytransducenten te compenseren.

Thans verwijzend naar de figuren 4 t/m 7 wordt een werkwijze voor het vervaardigen van een in zijn algemeenheid cilindrisch transducentarray, vergelijkbaar met dat van figuur 3, beschreven, en wordt ook de basisstructuur van het transducentarray beschreven. Een steunelement 98 van in zijn algemeenheid cilindrische configuratie is verschaft, welke bestaat uit een willekeurige van de bovenbeschreven steunmaterialen. Bij voorkeur zal het steunmateriaal van steunelement 98 omvatten een elastomeer gevuld met metaalschaafsel van hoge dichtheid of wolfraamschaafsel van hoge dichtheid, waardoor het is voorzien van de mogelijkheid tot akoestische verzwakking en akoestische aanpassing. Rondom het steunelement 98 is een in zijn algemeenheid cilindrisch lichaam 100 verschaft dat bestaat uit een geschikt piëzo-elektrisch transducentmateriaal, zoals lood-metaniobaat, keramiek, zirkonaat, titanaat, bariumtitanaat, lithiumsulfaat, kwarts, lithiumniobaat en pvdp De cilinders 98 en 100 kunnen aan elkaar gehecht zijn bij hun cilindrisch grensvlak door een willekeurig geschikte hechtstof, kleefstof of door een willekeurig ander middel om ze als stelsel bijeen te houden.

Als alternatief kan het steunmateriaal 98 worden geïntroduceerd binnen de cilinder 100 in een onverharde vloeibare toestand, en laat men dit op zijn plaats uitharden. Dit proces zal gedetailleerd in het hiernavolgende worden beschreven. Aan de respectieve uiteinden, van het cilindrische stelsel dat de cilinders 98 en 100 omvat, zijn eindkappen 108 en 110 bevestigd die elk een omtreksgroef 112 hebben waarbinnen het respectieve uiteinde van het cilindrisch stelsel is ontvangen. De boven- en ondereindkappen 108 en 110 kunnen ook aan het cilindrische stelsel zijn bevestigd door een willekeurige geschikte hechtstof of door middel van een willekeurig geschikt kleefmateriaal. Een binnenconnector of signaalretourconnector 91 zetelt binnen de bovenste extremiteit van de arra cilinder 100 en is met zijn ondervlak 93 in aanzienlijke aangrijping met of in dichte nabijheid van het bovenuiteinde van het lichaam of steunmateriaal 98. Het buitencilindervlak 95 van de binnenconnector zal zijn ontvangen binnen het bovenuiteinde van de array-ccilinder en zal gesoldeerd zijn of geleidend gehecht zijn aan het binnenvlak van de array-cilinder. De binnen- of signaalretourconnector bestaat bij voorkeur uit een metaal zoals koper dat is voorzien van een deklaag om bestand te zijn tegen corrosie, en verschaft een enkele elektrische connector 97 die zich centraal ten opzichte daarvan bevindt. Een buitenconnector of signaalconnector 99, voorzien van een veelvoud van daaruitstekende connectorpennen 101 die onderling op afstand van elkaar zijn gelegen, bevindt zich bij het bovenuiteinde van de array-cilinder en is bedekt door en misschien in positie vastgehouden door de boveneindkap 108. De buitensignaalconnector bestaat uit een geleidend materiaal zoals koper en is gesoldeerd aan of geleidend gehecht aan het buitenvlak van de array-cilinder. De connectorpennen 101 steken door daarmee uitgelijnde openingen 103 in de vlakke wand 105 van de boveneindkap voor

contact met andere elektronische componenten. Een array-transformatorblok 107 kan bevestigd zijn aan de boveneindkap nadat de snijhandeling is voltooid zodat de connectorpennen 101 elektrisch contact maken met respectieve van meerdere transformatoren binnen het transformatorblok. Het array-transformatorblok is ontworpen om bevestigd te worden aan het piëzo-elektrisch array en elektrisch verbonden met de individuele array elementen en met aandrijf- en ontvangstelektronica, ofwel als een enkelvoudige eenheid ofwel als meerdere eenheden. Het transformatorblok 107 kan meerdere elektronica connectoren 109 definiëren voor contact met de respectieve connectorpennen 101 van de buitenconnector. Als alternatief kunnen de connectorpennen 101 ontvangstruimten zijn en kunnen de connectoren 103 van het transformatorblok de vorm aannemen van connectorpennen. De binnenconnectorpen 97 zal blootliggen bij de centrale opening 111 van het transformatorblok.

Wanneer het de bedoeling is om een niet-uitgehard steunmateriaal te gebruiken, zullen de array-componenten, inclusief de array-cilinder, binnen- en buitenconnectoren en eindkappen geassembleerd worden, waarbij zich een inwendige scheidingsbuis bevindt binnen de cilinder en met zijn interne opening uitgelijnd met de centrale openingen 113 en 115 van de eindkappen. Het niet-uitgeharde steunmateriaal, in een vloeibare of semi-vloeibare toestand, wordt dan geforceerd door een eindkapopening zoals getoond bij 117 en 119, de ringvormige ruimte in tussen de binnenwand van de arraycilinder en het buitenvlak van de inwendige buis. Openingen 87 en 89 zijn respectievelijk gedefinieerd in de buitenconnector 105 en de binnenconnector 91 om het aan het niet-uitgeharde steunmateriaal mogelijk te maken om vanuit de eindkapopening de ringvormige ruimte in te vloeien. Wanneer de ringvormige ruimte vol is met steun-materiaal, zal elke over maat uittreden bij de tegenover elkaar gelegen eindkapopeningen 117 en 119.

Nadat het steunmateriaal is uitgehard om een vaste massa te vormen, kan men de interne buis in samenhang met het array op zijn plaats laten, of deze kan worden verwijderd.

Nadat het cilindrisch stelsel van figuur 4 is voltooid, en voordat het transformatorblok geïnstalleerd is, wordt een veelvoud van in de lengterichting verlopende, evenwijdige sneden gemaakt in het stelsel, zoals getoond in de figuur 5 en 6. Deze sneden reiken volledig door de buitentransducentlaag 100 en de binnenconducteurring 99 en enigszins tot in de steunlaag 98. Dit scheidt het ringvormig transducentlichaam in meerdere elektrisch geïsoleerde transducent- en connectorstelsels, terwijl de binnengeleider continu blijft, zodat elke retourgeleider van de respectieve transducenten zal zijn kortgesloten of elektrisch verbonden met de enkele retourconnectorpen. Een geschikt middel voor het tot stand brengen van deze sneden is door angulair georiënteerde zaagsneden om de cilinderas 116. Deze zaagsneden kunnen gemaakt worden door het cilindrisch transducentstelsel te monteren in een klauwplaat voor rotatie om de as 116 en door zijn periferie te verdelen zodat de zaagsneden een gewenst aantal van transducentelementen van gelijke breedte zullen bereiken. Nadat de sneden zijn gemaakt, zal elke transducent en zijn respectieve elektrische verbinding elektronisch geïsoleerd zijn voor individuele elektronische excitatie. Indien transducentelementen van ongelijke breedte gewenst zijn, dan kunnen de zaagsneden op geschikte wijze gemaakt worden zodat de afmetingen daarvan ongelijk zijn, zoals getoond in figuur 7. Met betrekking tot figuur 7 wordt opgemerkt, dat de perifere sneden 118 van de kwartsecties 120 en 122 dichter bij elkaar zijn gelegen in vergelijking met de sneden 124 van kwartsegmenten 126 en 128. Deze bijzondere afstanden voor de sneden is echter niet bedoeld om beperkend te zijn voor deze uitvinding omdat ongelijke spatiëring van elke gewenste aard gebruikt kan worden zodat rechtlijnige piëzo-elektrische elementen van ongelijke breedte gebruikt kunnen worden in een akoestisch array.

Zoals boven vermeld wordt het, voor doelen van putregistratie, gewenst geacht om focussering van akoestische signalen te bereiken bij gewenste punten ten opzichte van de formatie die het boorgat omgeeft. Focussering kan mechanisch tot stand worden gebracht, zowel verticaal als horizontaal, door de configuratie van de piëzo-elektrische elementen van het array te controleren. Zoals getoond in de figuren 8 en 9, is een piëzo-elektrisch array in zijn algemeenheid aangeduid bij 130 door middel van isometrische illustratie, en gebruikt een centraal akoestisch verzwakkend steunorgaan 132 van ringvormige configuratie dat wordt omgeven door een veelvoud van gekromde piëzo-elektrische elementen 134 met gelijke onderlinge afstanden. Zoals duidelijk blijkt uit de doorsnede van figuur 9, definieert het steunelement 132 een in zijn algemeenheid cilindrische doorboring 136 die het mogelijk maakt dat de arrayeenheid 130 gemonteerd wordt op een cilindrische steun, zoals het connectoruitsteeksel 72 van figuur 2. Het steunelement 132 definieert verder een extern concaaf oppervlak 138 waaraan de gekromde binnenvlakken 140 van de gekromde rechtlijnige piëzo-elektrische elementen 134 gehecht of anderszins bevestigd zijn. Deze piëzo-elektrische elementen hebben een ongeveer constante breedte langs de verticale lengte daarvan en definiëren aldus externe akoestische signaalfocusserende oppervlakken 142 voor het mechanisch focusseren van de akoestische signalen bij de boorgatwand of bij een willekeurig andere geschikte locatie ten opzichte van het transducentarray. Wanneer akoestische signaalfocussering wordt bereikt, is er een langer

bereik, diepere penetratie van de akoestische signalen tot in de formatie en daardoor betere diepte van penetratie van de signalen in de formatie, zodat een betere hoekoplossing wordt bereikt. Elektronische focussering in de horizontale richting wordt gebruikt voor het doel van sturing.

Thans wordt verwezen naar de figuren 10–12, waar een alternatieve uitvoeringsvorm van de onderhavige uitvinding in zijn algemeenheid wordt getoond bij 144, welke is verschaft voor verticale mechanische focussering van de akoestische signalen. Het arraystelsel 144 bezit een extern akoestisch venster 146 met bovenste en onderste cilindrische eindsegmenten 148 en 150 waartussen zich een extern perifeer akoestisch focuseeroppervlak 152 bevindt dat van concave configuratie is. Het akoestisch venster bereikt daardoor focusering van akoestische signalen, die worden uitgezonden door een intern akoestisch piëzo-elektrisch array. Het piëzoelektrisch array wordt gedefinieerd door een in zijn algemeenheid cilindrische steun 154, die een cilindrische doorboring 156 definieert voor het monteren van het arraystelsel binnen de sonde. Het steunelement 154, dat een willekeurig geschikt akoestisch signaal verzwakkend materiaal kan bevatten, definieert ook een extern cilindrisch oppervlak 158, waaraan een veelvoud van onderling op afstand gelegen rechtlijnige elementen 160 is bevestigd door middel van hechten of door middel van een willekeurig geschikte kleefstof. De piëzo-elektrische elementen 160 definiëren externe oppervlaktesegmenten 162.

Thans wordt verwezen naar figuur 13, waar een in zijn algemeenheid cilindrisch piëzo-elektrisch array in zijn algemeenheid is aangeduid met 164 door middel van een isometrische illustratie, welk array een intern en in zijn algemeen cilindrisch steunelement 166 omvat dat een interne doorboring 168 heeft. Extern van de signaalverzwakkende steun is een stel van piëzo-elektrische akoestische elementen verschaft dat een stel van NxM rechtlijnige piëzo-elektrische elementen van gelijke lengte en breedte omvat welke zijn uitgelijnd langs de cilinderas van het array, waarbij N het aantal elementen rondom het array is en M het aantal piëzo-elektrische elementen langs de cilinderas van het array is. In dit bijzondere geval representeert N 64 piëzo-elektrische elementen die zijn opgesteld rondom het array, en -representeert 8 piëzoelektrische elementen in elke verticale rij langs de arrayas. Bedacht moet worden, dat dit willekeurige getallen zijn waarbij zowel N als M elk willekeurig gewenst getal representeren voor beoogde resultaten.

Bedacht moet echter worden, dat elk van de individuele piëzoelektrische elementen elektrisch gekoppeld is met een enkele elektrische geleider zodat dit individueel geëxciteerd kan worden door een elektrische spanningspuls voor signaalgeneratie. Ook dient bedacht te worden, dat de piëzoelektrische elementen gekoppeld kunnen zijn in geselecteerde groepen met individuele elektrische geleiders, zodat zij desgewenst gelijktijdig gestuurd kunnen worden voor een bepaald karakter van de signaalgeneratie.

De figuren 14 t/m 17 zijn grafisch representatief voor horizontaal focusserende piëzo-elektrische arrays. In figuur 14 is het in zijn algemeenheid met 172 aangeduide array van een gekromde externe configuratie die een concaaf extern arrayoppervlak 174 definieert en een bovenextremiteit 176 heeft van grotere diameter dan de onderextremiteit 178. Het array 72 kan individueel gebruikt worden of in combinatie met andere arraysecties om te voorzien in gewenste horizontale focussering van akoestische signalen, die worden uitgezonden voor individuele piëzo-elektrische elementen 180.

Zoals getoond in figuur 15, in zijn algemeenheid bij 182, voorziet deze uitvinding het verschaffen van een piëzoelektrisch array van in zijn algemeenheid afgeknot-conische configuratie met een veelvoud van individuele piëzo-elektrische akoestische zendelementen 184 die collectief een extern conisch arrayoppervlak 186 definiëren. In het geval van figuur 15 definieert de extremiteit 188 met grotere diameter het boveneinde terwijl de kleinere extremiteit 190 het benedeneinde van het array definieert.

Zoals getoond in figuur 16, is een piëzo-elektrisch akoestisch array in zijn algemeen geïllustreerd bij 192 met een grote bovenextremiteit 194 en een kleinere benedenextremiteit 196. Dit array wordt gedefinieerd door een veelvoud van individuele piëzo-elektrische elementen 198 die reiken van de bovenkant naar de onderkant van het array en die naast elkaar op onderlinge afstand zijn opgesteld. Elk van de piëzoelektrische elementen heeft een gekromde configuratie zodat de transducenten collectief een extern gebogen concaaf oppervlak 200 van het array definiëren.

Zoals getoond in figuur 17, is een piëzo-elektrisch akoestisch array in zijn algemeenheid getoond bij 202 en heeft dit een in zijn algemeenheid afgeknot-conische configuratie met een groot bovenuiteinde 204 en een kleiner benedenuiteinde 206, en wordt dit gedefinieerd door een veelvoud van langwerpige piëzo-elektrische elementen 210 die externe oppervlakken hebben die collectief een extern arrayoppervlak definiëren van conische configuratie. De individuele piëzoelektrische elementen 210 zijn naast elkaar op onderlinge afstand opgesteld, waarbij de verticale hoogte daarvan de hoogte van het array definieert.

Onder verwijzing naar figuur 18 is een taps of gebogen, in het algemeen biconisch array in zijn algemeenheid bij 212 getoond in relatie tot een putboringwand 214. Het biconische array omvat bovenste en onderste arraysecties die in hun algemeenheid zijn aangeduid met A en B, die elk de in figuur 16

getoonde configuratie hebben en een veelvoud van langwerpige naast elkaar opgestelde, met onderlinge afstand, gebogen piëzo-elektrische elementen hebben, vergelijkbaar met die welke in het voorgaande in verband met figuur 16 zijn besproken.

De array-elementen A en B zijn gescheiden door een tussensectie die is bestemd voor differentiële fluïdumstroming. Element A kan functioneren als een zender, waarbij elk van de piëzoelektrische elementen 218 op geschikte wijze door elektrische pulsen worden geëxciteerd. De biconische extremiteit B kan functioneren als een ontvanger, waarbij elk van zijn piëzoelektrische elementen 220 elektrisch zijn gekoppeld in de ontvangstmodus. De uitgezonden akoestische signalen worden mechanisch verticaal gefocusseerd vanwege d configuratie van de piëzo-elektrische elementen zoals getoond door middel van stippellijnen. Door dan de akoestische signalen van de arrays A plus B op te tellen, kan de gemiddelde snelheid van fluïdumstroming bepaald worden, terwijl door de akoestische signalen A minus B af te trekken, de verschilsnelheid van de fluïdumstroming bepaald kan worden. De piëzo-elektrische elementen kunnen element voor element afgevuurd worden, of zij kunnen simultaan gevuurd worden, zoals nodig voor een juiste signaalverzending en ontvangst. De lengte van de centrale "spacer" 216 kan worden ingesteld om het gebruik van een array van een bijzondere grootte in putboringen, bekledingen en pijp van diverse diameters op te nemen.

Een andere uitvoeringsvorm die geschikt is voor volumetrisch aftasten is een biconisch tweevoudig array zoals getoond in figuur 18, behalve dat het array mechanisch is gefocusseerd in de horizontale positie en elektronisch gefocusseerd en afgetast in de verticale richting. Voorzien wordt, dat een dergelijk array 8 horizontaal gefocusseerde elementen zou hebben op elk van de 8 vlakken van een octagonale "kegel".

Onder verwijzing naar de figuren 19 en 20 is een piëzoelektrisch transducentarray in zijn algemeenheid bij 222 getoond, dat een niet-gefocusseerd array is van octagonale configuratie met meerdere piëzo-elektrische elementen die in hoofdzaak vlakke externe oppervlakken 224 definiëren. De array-configuratie van de figuren 19 en 20 zouden het best gebruikt kunnen worden voor verticale bundelsturing. Een uitvoeringsvorm van een octagonaal gefocusseerd array is in zijn algemeenheid getoond bij 226 in de figuren 21 en 22, waarbij elk van de 8 vlakken van de octagonale configuratie wordt gedefinieerd door horizontaal gekromde oppervlakken zoals getoond bij 228. Deze gekromde oppervlakken bereiken een verticale aftasting voor inclinatie-meting met hoge resolutie van een omgevende aardformatie.

Zoals vermeld in verband met figuur 4 wordt een transformatorblok 107 gebruikt voor het wijzigen van de spanning die wordt aangeboden aan de individuele piëzo-elektrische transducenten. Zoals getoond in de figuur 23 en 24 kan het transducentblok een vorm aannemen zoals in zijn algemeenheid getoond bij 230, en een lichaam 232 omvatten van ferrietmateriaal dat cirkelvormige verdiepte gedeelten 234 definieert rondom integrale pennen 236 en aldus veroorzaakt, dat de ferrietposten transformatorkernen representeren. De verdiepte gedeelten ontvangen transformatorwikkelgeleiders met een gewenst aantal windingen, welke de ingangs- en uitgangswikkelingen van de transformator representeren. De wikkelgeleiders zijn vastgezet binnen de respectieve verdiepte gedeelten door een gietmateriaal zoals een geschikte polymeer. Een sluitstuk 238, ook bestaand uit ferriet of een willekeurig ander geschikt materiaal, wordt gehecht of op andere wijze gefixeerd aan het oppervlak 240 teneinde tegelijkertijd voor al de transformatieverdiepingen een sluitstuk te vormen. De elektrische ingangs- en uitgangsleidingen van de transformatorwikkelingen zullen blootliggen voor elektrische verbinding met een ingangsbron en met de connectorelementen of -pennen van de transducent.

Elk van de transformatoren kan worden afgestemd door een eenvoudige transformator afsteminrichting zoals getoond in figuur 25. De centrale pool of kern 236 kan aan één zijde zijn afgeschuind, zoals getoond bij 242. Een ferrietafstemelement 244 met een instelsleuf 246 en ook voorzien van een instelkern 248 is roteerbaar bevestigd. De ferrietkern 248 is afgeschuind bij zijn uiteinde 250 zodat, wanneer deze wordt geroteerd ten opzichte van de kern. 236, de structuur van de transformatorkern wordt gemodificeerd met als doel het afstemmen van het uitgangssignaal van de transformator. Een transformatorarray van het in figuur 23 getoonde algemene karakter wordt vervaardigd en verkocht door Ceramic Magnetics, Inc., te Fairfield, New Jersey.

Zoals getoond in figuur 26 is een ferriet-arraytransformatorblok van in zijn algemeenheid cirkelvormige configuratie in zijn algemeenheid getoond bij 254, met meerdere transformatoren 252. Het kan transformatoren omvatten, waarvan ten minste sommige afgestemde transformatoren zijn. Het kan dus een combinatie omvatten van afgestemde of gefixeerde transformatoren zoals nodig voor juiste werking van het transformatorblok in samenhang met het akoestische transducentarray van de uitvinding. Typisch zal het transformatorblok hetzelfde aantal transformatoren hebben als dat het akoestisch transducenten heeft, waarbij de uitgangsleidingen van individuele transformatoren elektrisch zijn verbonden met individuele transducentelementen.

Conclusie

Akoestische sonde voor boorgatonderzoek, omvattende:
- behuizingsmiddelen die een interne kamer definiëren en een akoestisch transparante huissectie hebben;
- een ringvormig akoestisch transducentarray dat zich bevindt binnen genoemde behuizingsmiddelen nabij genoemde akoestisch transparante huissectie, en omvattende:
- een ringvormig steunelement dat bestaat uit een akoestisch dempend materiaal;
- een veelvoud van akoestische transducentelementen die zich elk extern bevinden van genoemde ringvormige steunelementen;
- een veelvoud van elektronische transducentketens die individueel elektrisch zijn gekoppeld met genoemd akoestisch transducentelement;
- elektronische zend/ontvangsketens die in controlerende relatie gekoppeld zijn met genoemd veelvoud van elektronische transducentketens;

gekenmerkt door
- een transformatorblok met daarin bevestigd een veelvoud van transformatoren die elk individueel elektrisch zijn aangesloten tussen de elektronische transducentketens en de individuele akoestische transducentelementen voor elektronische excitatie daarvan, waarbij ten minste een deel van de transformatoren mechanisch afgestemd kan worden.

Hierbij 11 bladen tekening

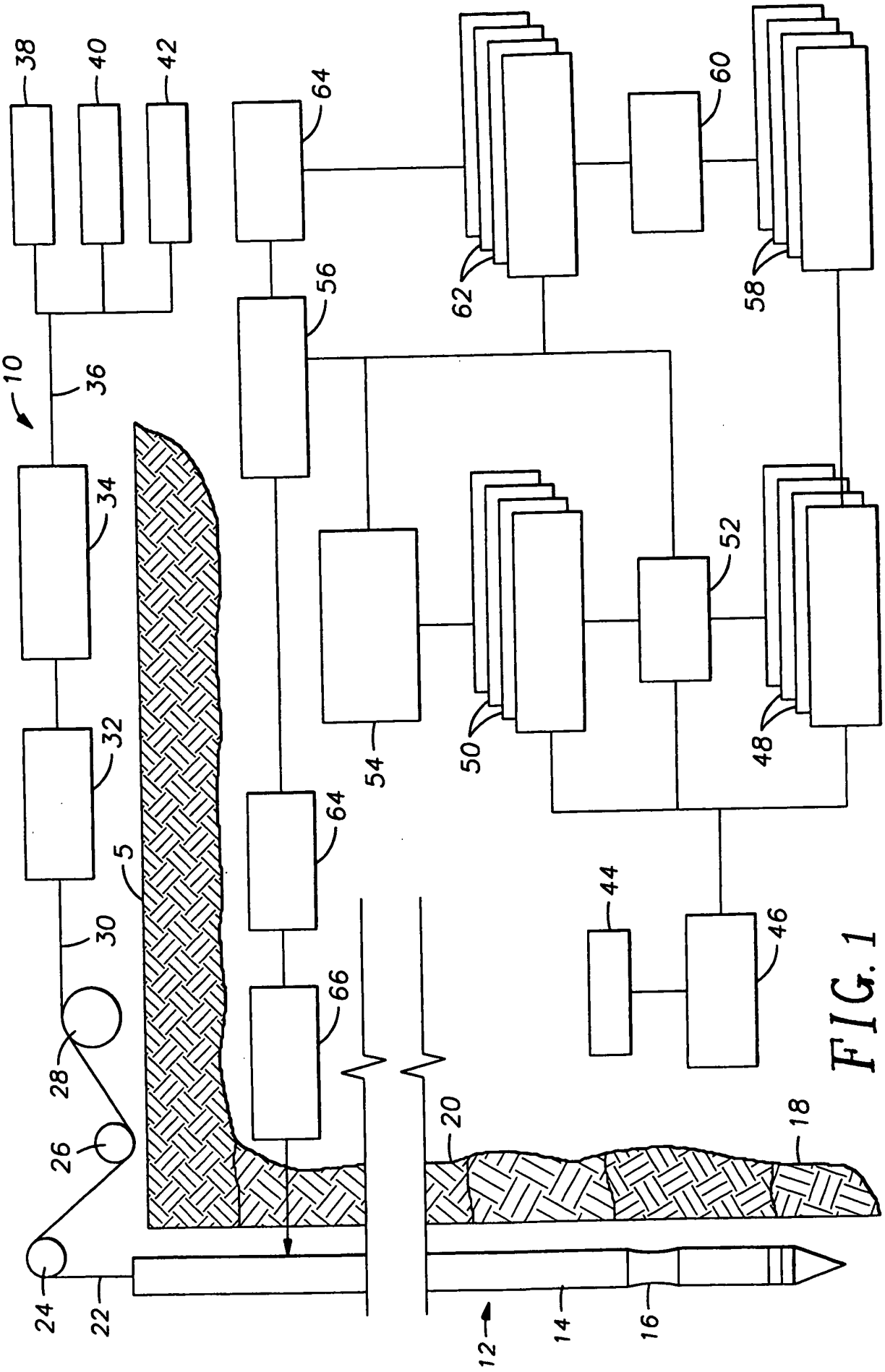

38
40
42
64
60
62
58
56
10
36
34
32
5
30
54
50
52
48
64
44
46
66
28
26
20
18
24
22
12
14
16

FIG. 1

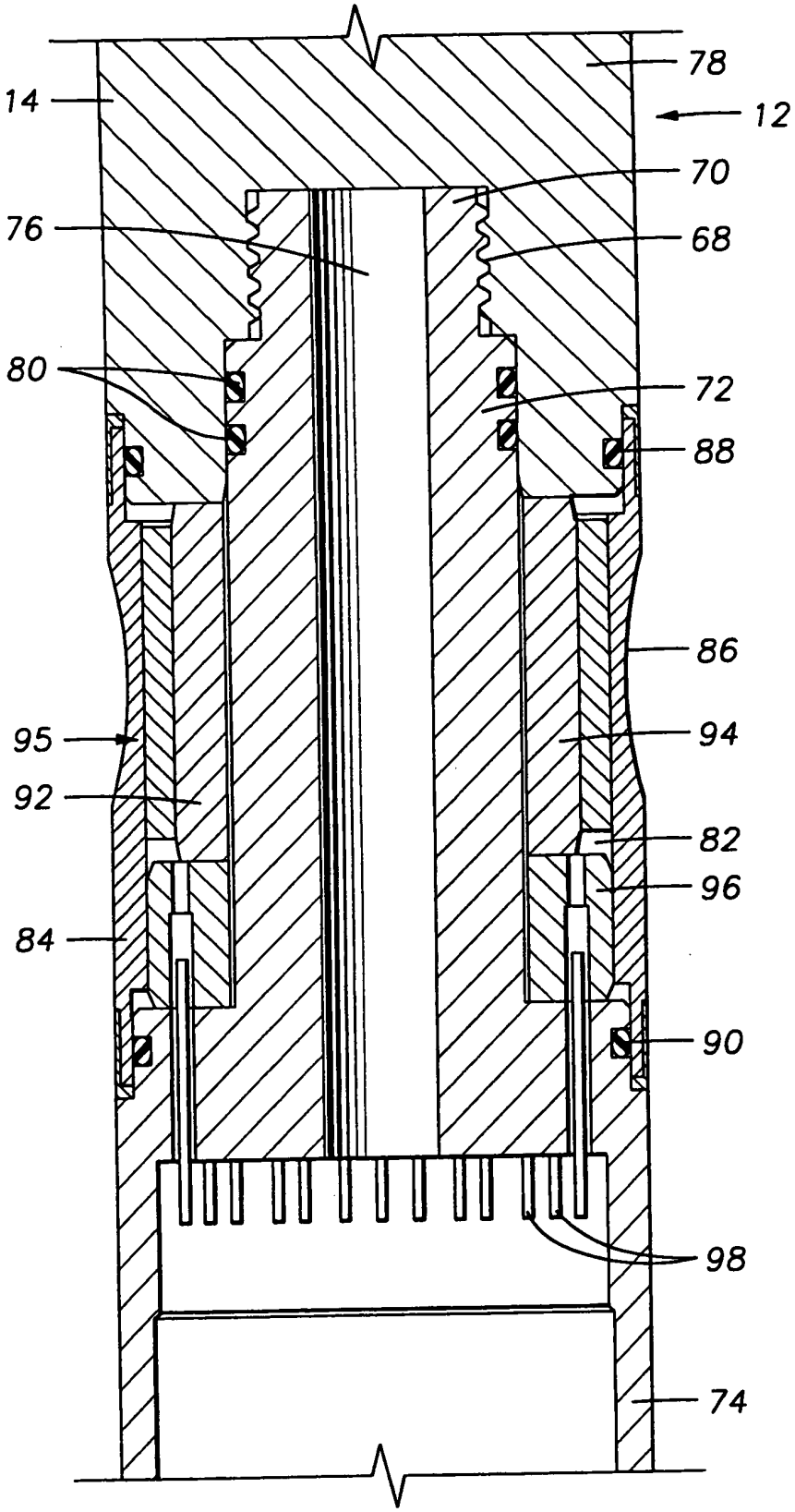


FIG. 2

FIG. 3

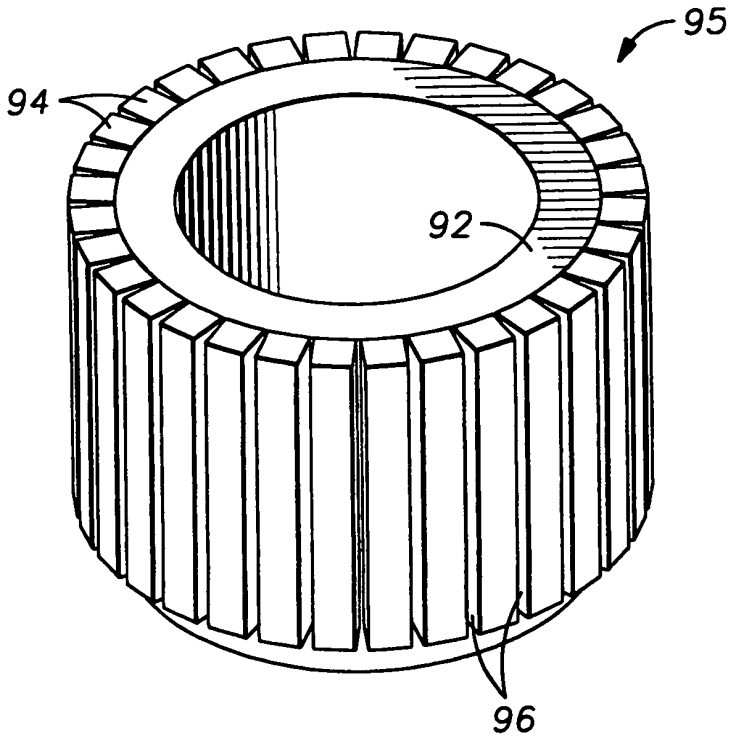


FIG. 13

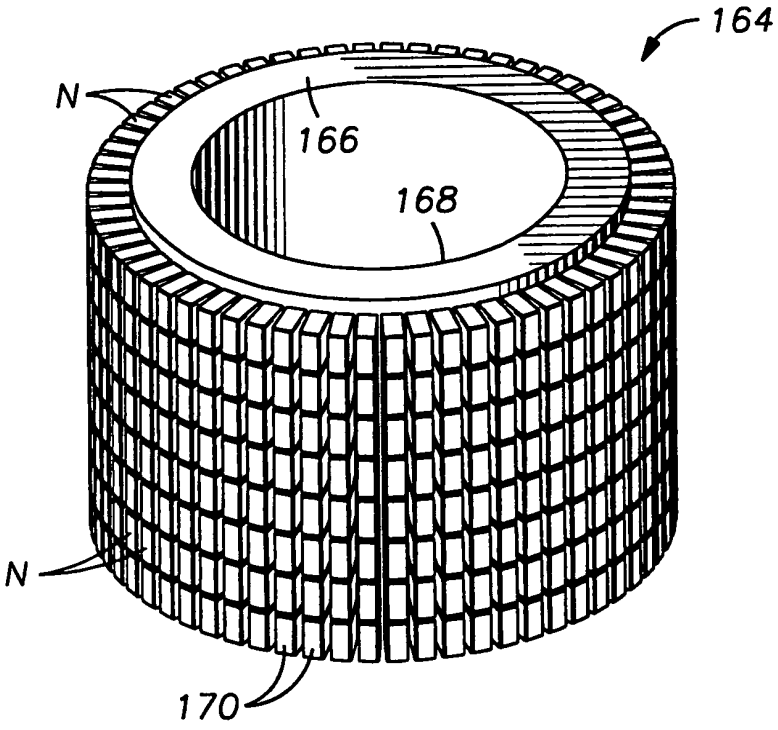


FIG. 4

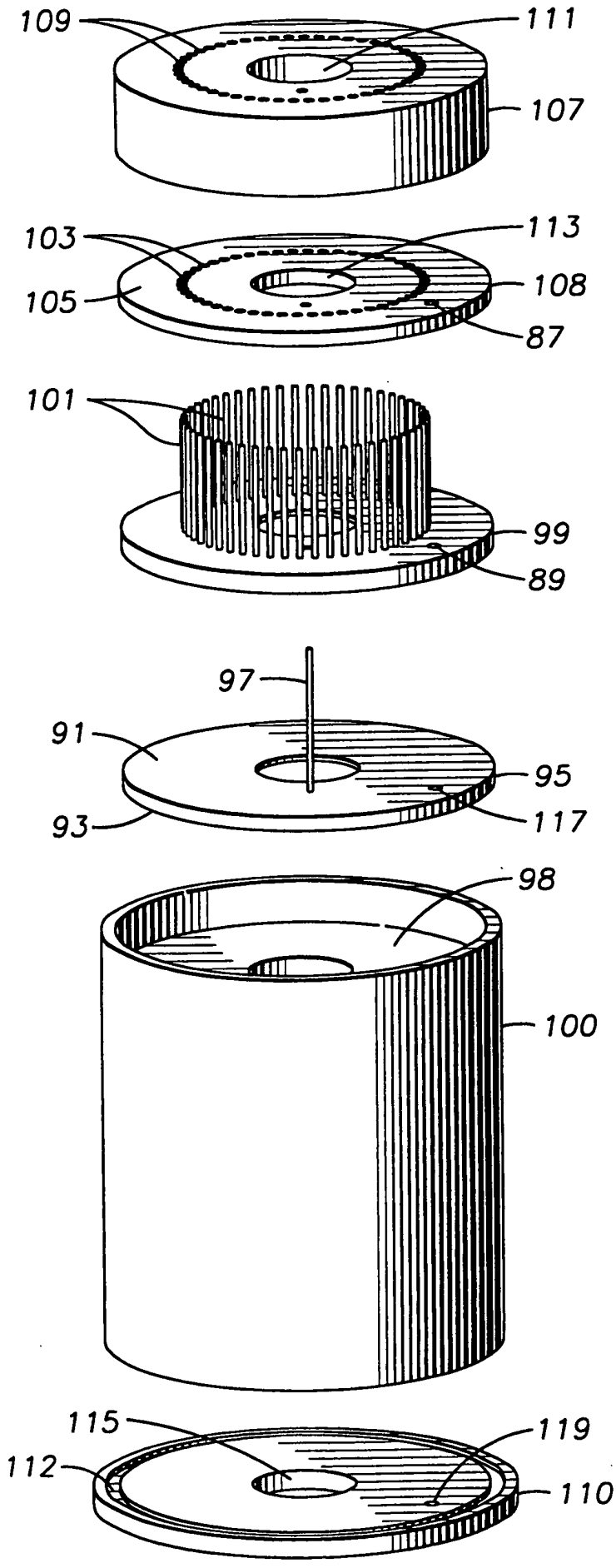

109
111
107
103
113
105
108
87
101
99
89
97
91
95
93
117
98
100
115
119
112
110

FIG. 5

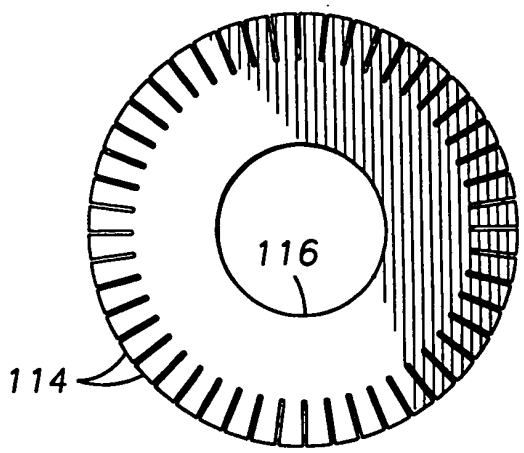


FIG. 6

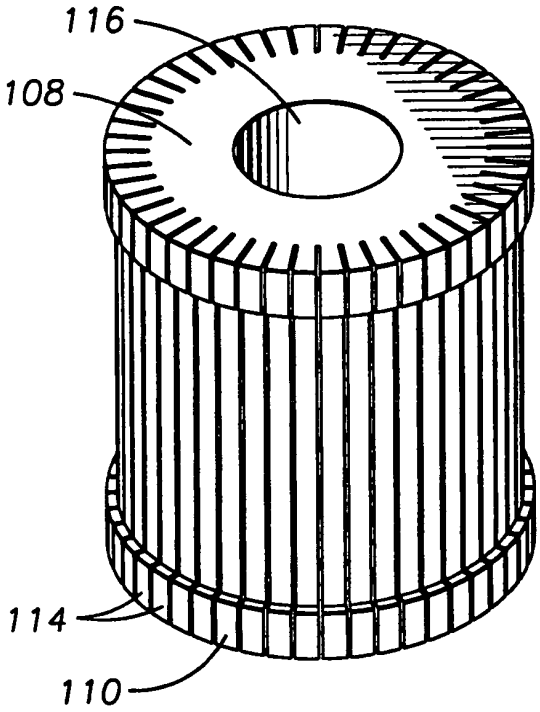


FIG. 7

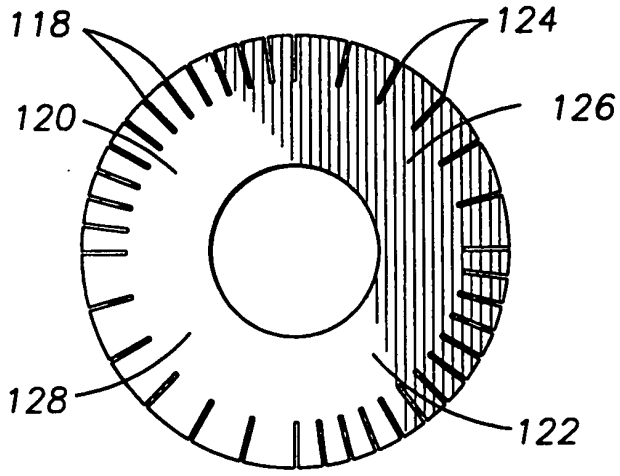


FIG. 8

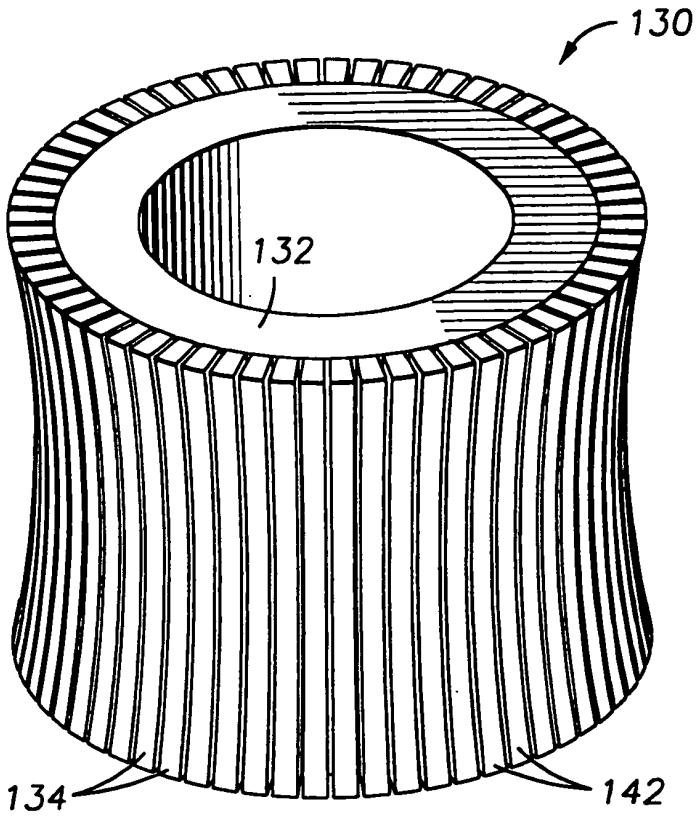
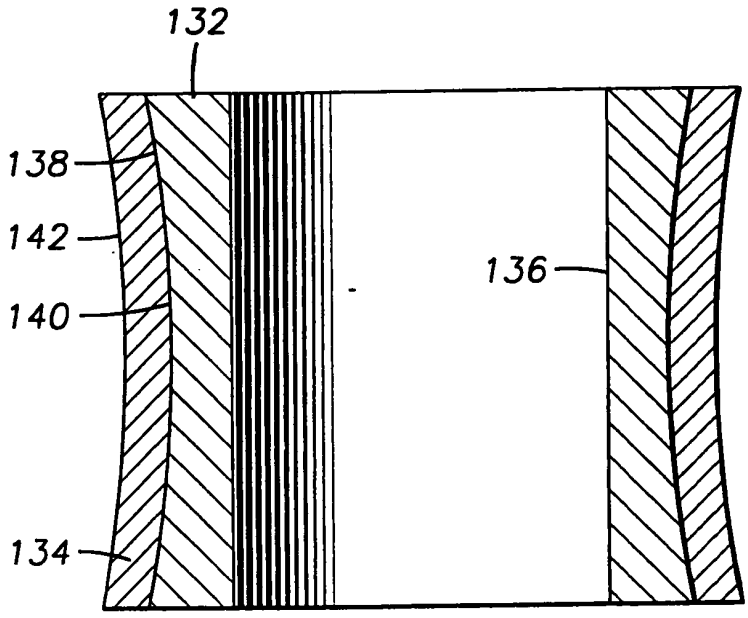


FIG. 9



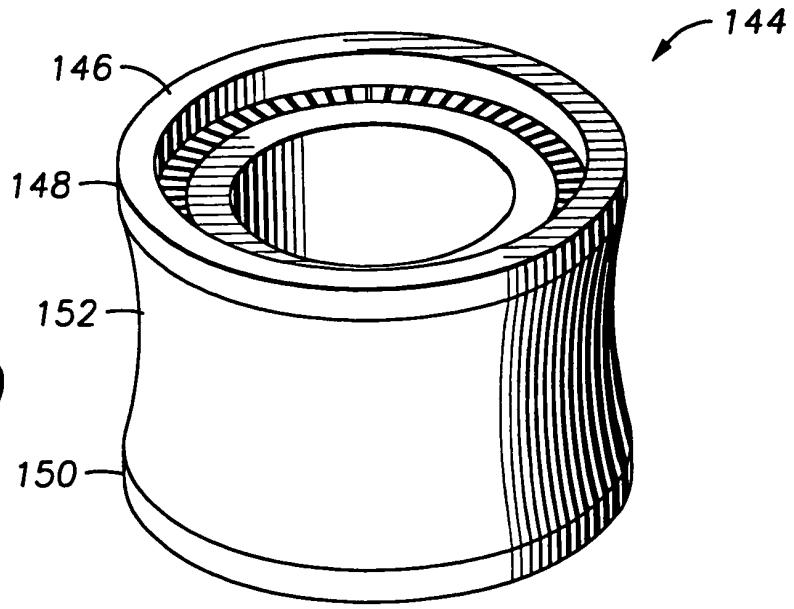


FIG. 10

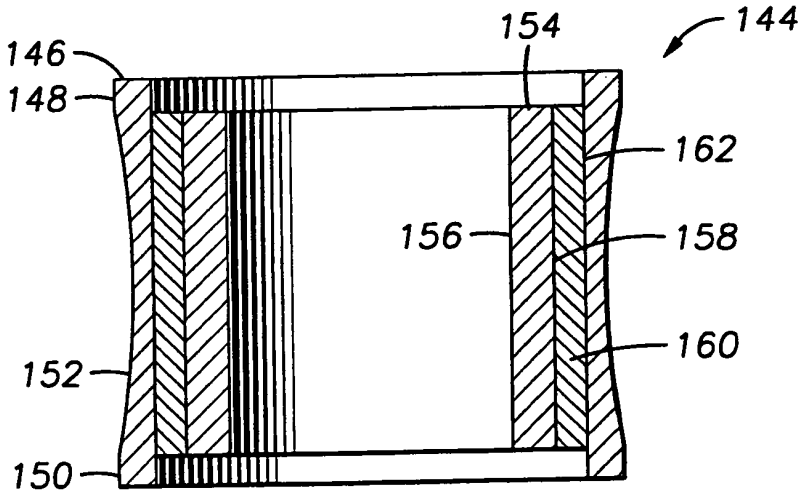


FIG. 11

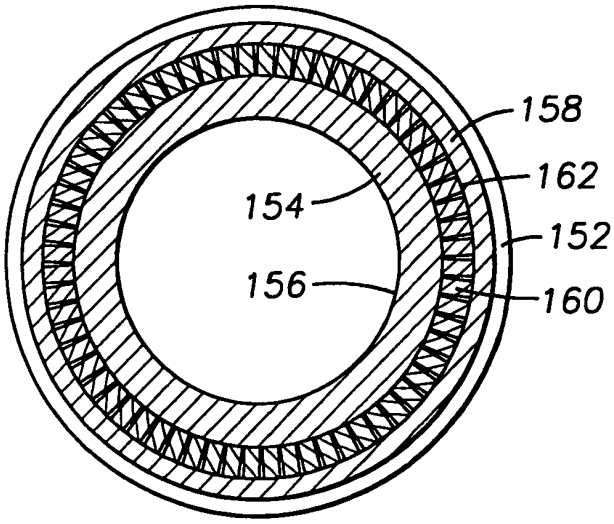


FIG. 12

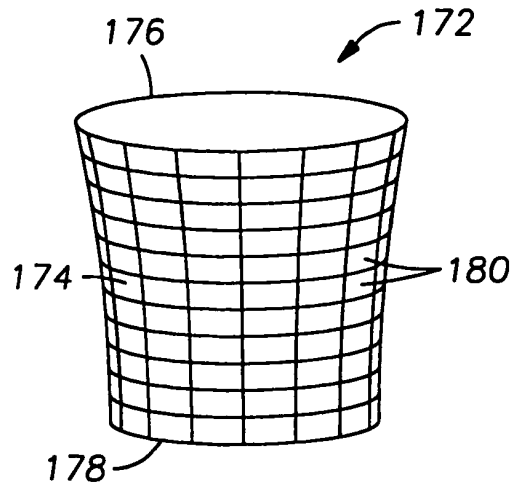


FIG. 14

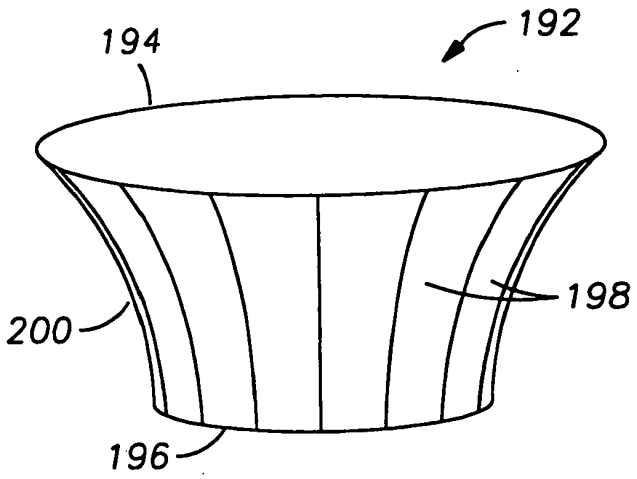


FIG. 16

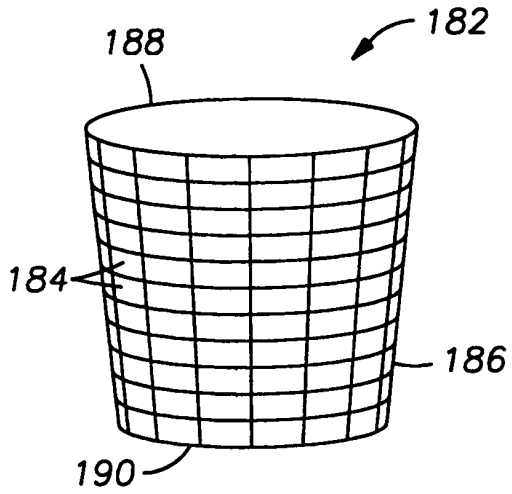


FIG. 15

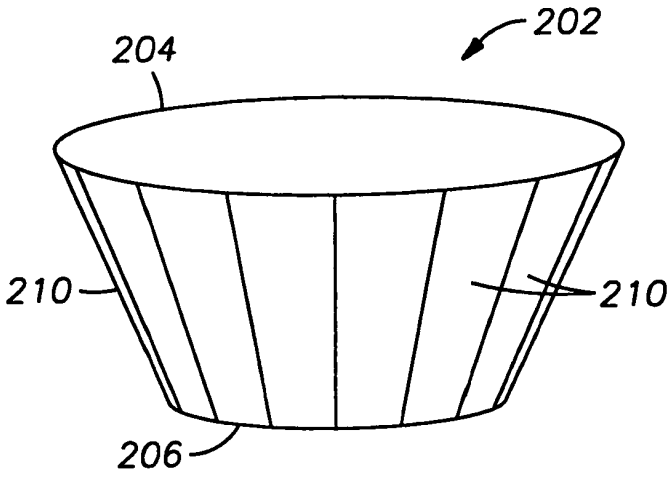


FIG. 17

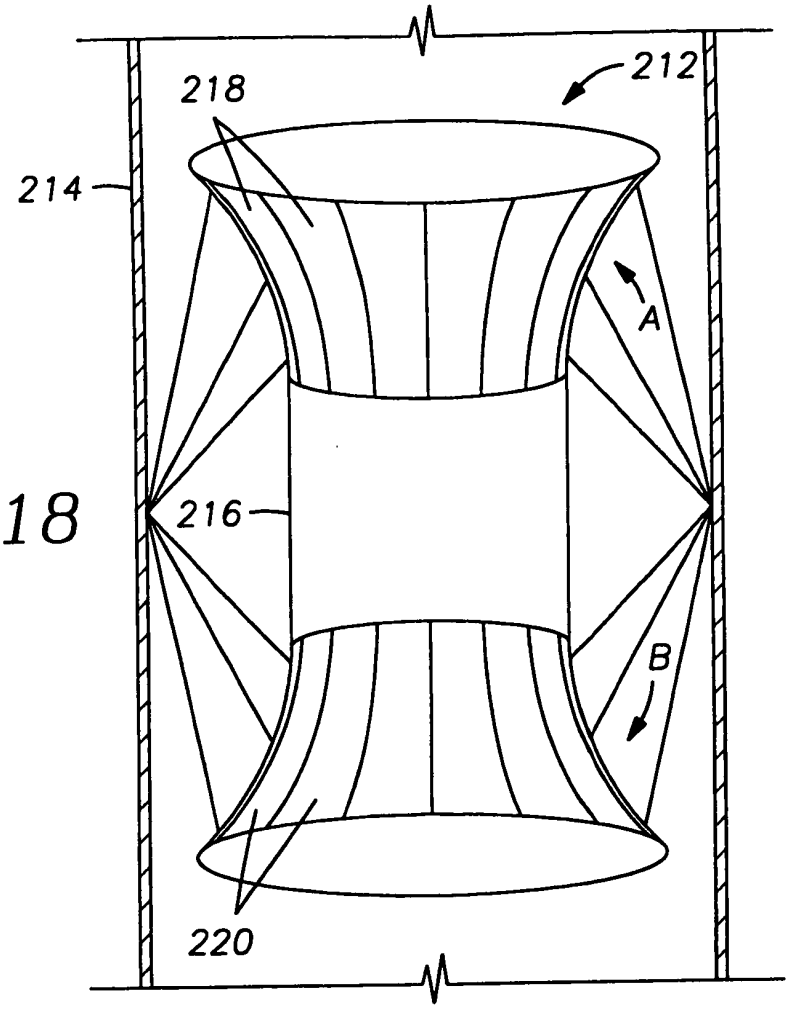


FIG. 18

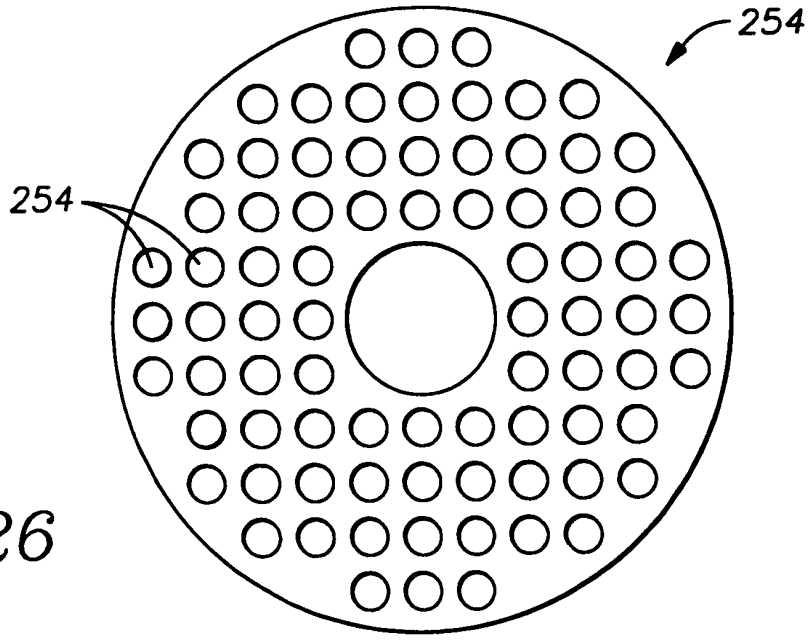


FIG. 26

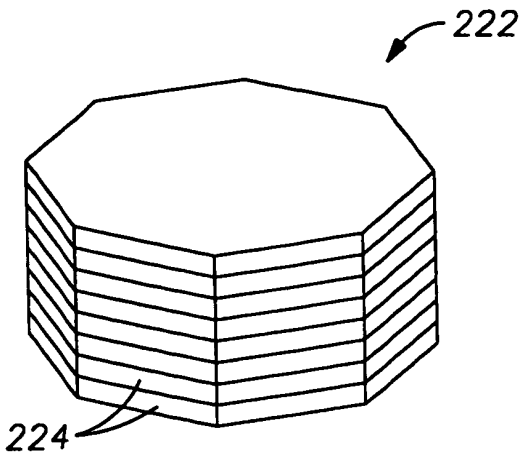


FIG. 19

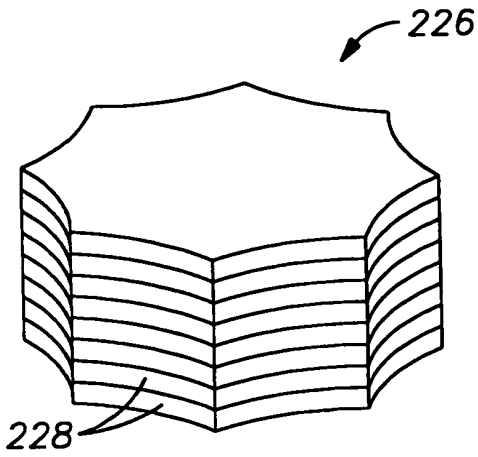


FIG. 21

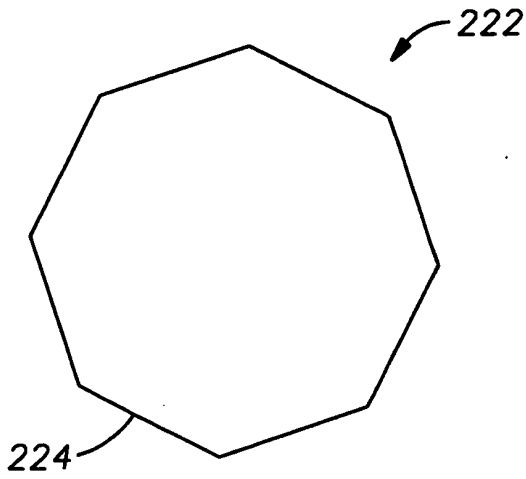


FIG. 20

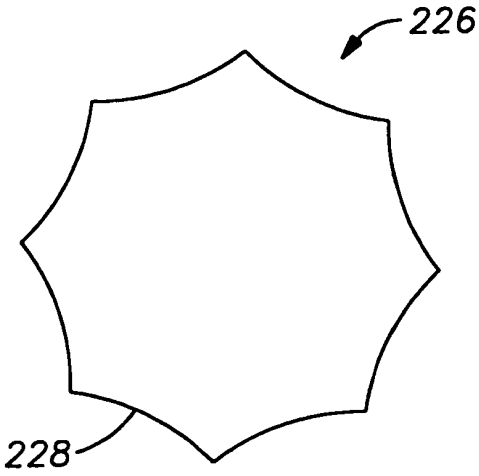


FIG. 22

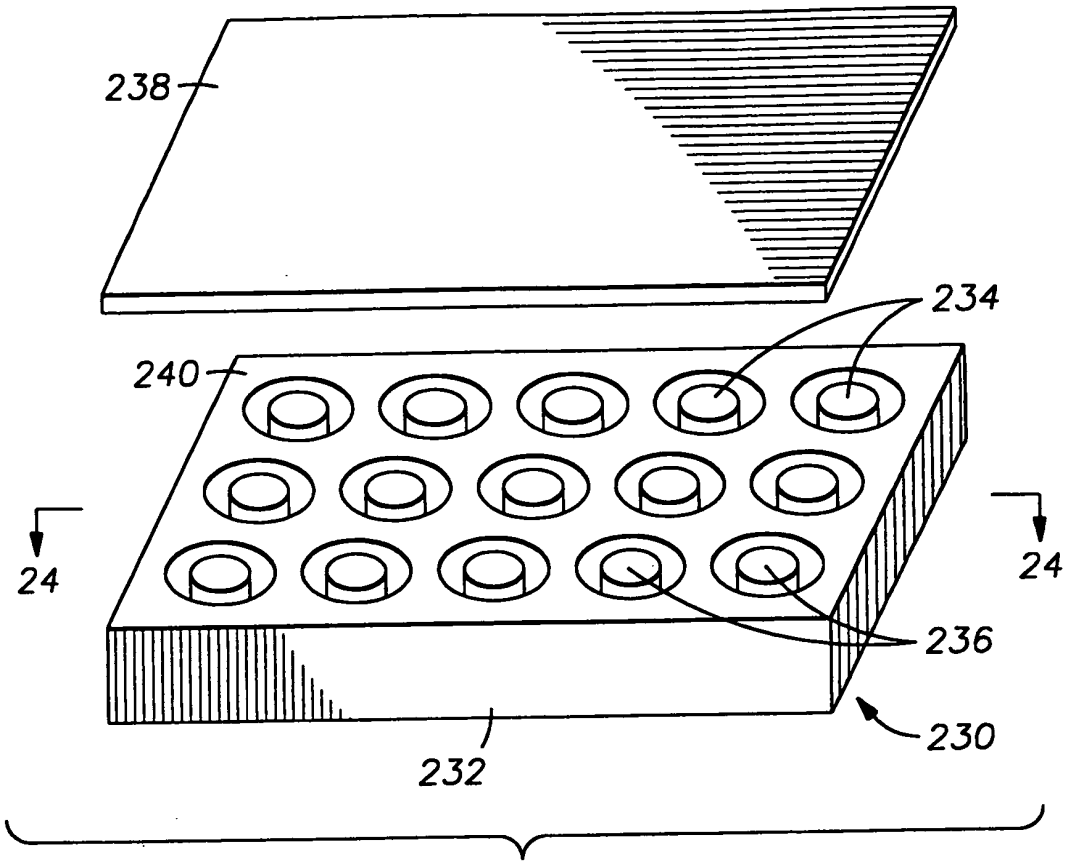


FIG. 23

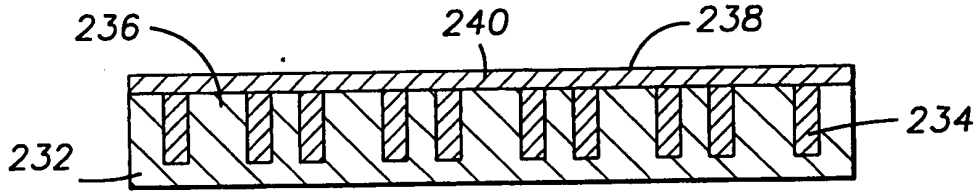


FIG. 24

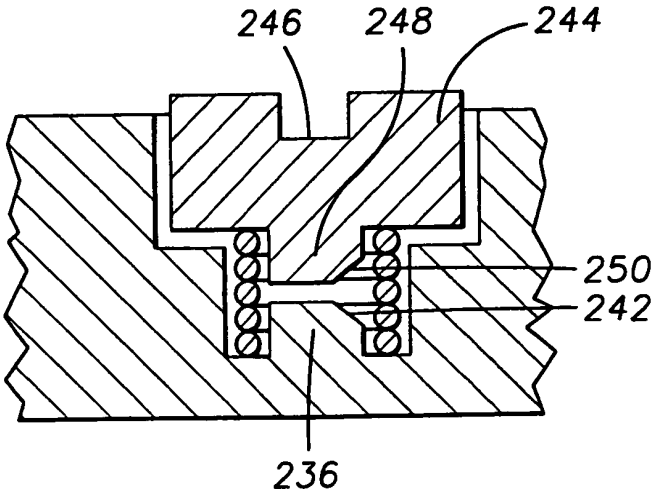


FIG. 25