



NORGE

(12) PATENT

(19) NO

(11) 319020

(13) B1

(51) Int Cl<sup>7</sup>

E 21 B 49/00

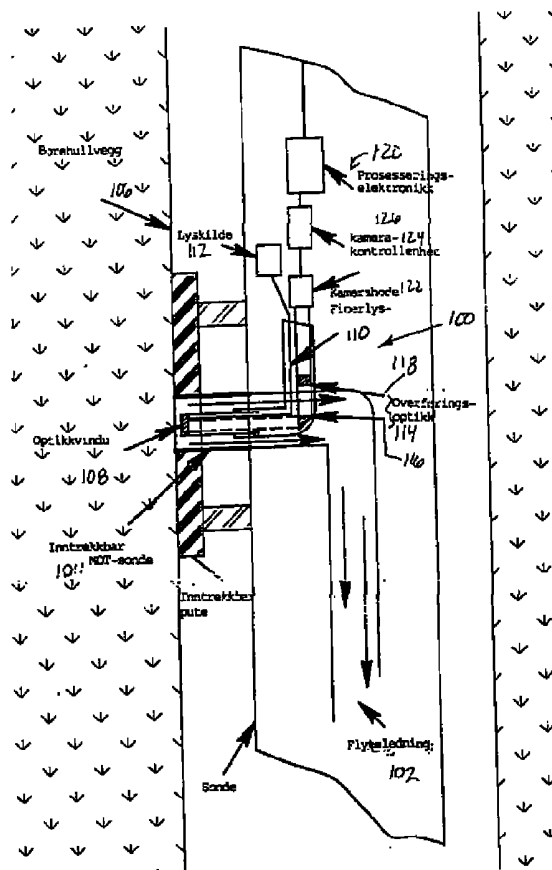
### Patentstyret

(21)	Søknadsnr	19962392	(86)	Int.inng.dag og søknadsnr	
(22)	Inng.dag	1996.06.06	(85)	Videreføringsdag	
(24)	Løpedag	1996.06.06	(30)	Prioritet	1995.06.07, US, 483137
(41)	Alm.tilgj	1996.12.09			
(45)	Meddelt	2005.06.06			

(73)	Innehaver	Schlumberger Technology BV , Carnegreilaan 12, NL-2517 KM Haag, NL
(72)	Oppfinner	François M Auzerais, 120-12 Prospect Street, Ridgefield, CT 06877, US Robert J Schroeder, 71 Castle Hill Road, CT06470 NEWTON, US
(74)	Fullmektig	Onsagers AS , Postboks 6963 St Olavs Plass, 0130 OSLO, NO

(54)	Benevnelse	<b>Anordning og fremgangsmåte for avbildning av formasjoner i en brønn i mikroskopisk skala</b>
(56)	Anførte publikasjoner	US 4860581 US-A-3992095
(57)	Sammendrag	

Bilder av bergformasjoner under jordoverflaten kan fås i mikroskopisk skala. Et borehullverktøy benytter en pakning til å isolere et intervall av formasjonen fra borehullvæskene som befinner seg utenfor pakningen. En sonde på verktøyet kommer til inngrep med veggen i formasjonen og trekker deretter formasjonsvæsken fra formasjonen inn i det indre av verktøyet. Verktøyet frembringer deretter et optisk bilde av formasjonen og som angir bergteksturen. Pakningen kan omfatte en pute, oppblåsbare pakkere, kompresjonspakkere eller sementplugg. Bildene av formasjonen kan fås med elektrooptiske avbildningsinnretninger så som ladningskoblede innretninger (CCD) eller et kamera som arbeider i det synlige og/eller nær-infrarød-område, eller med ultralydtransdusere som arbeider i området fra under MHz til feks. noen MHz. Infrarødområdet skaffer et optisk bilde av formasjonen gjennom opake fluider så som oljebasert slam eller oljen selv.



Oppfinnelsen angår avbildning av grunnformasjoner. Mer bestemt angår oppfinnelsen avbildning av et intervall av en bergformasjon under jordens overflate og i en mikroskopisk skala.

5 Kjennskap til bergtekstur er ofte avgjørende ved karakterisering av et hydrokarbonreservoar i en grunnformasjon. Bergtekstur som f.eks. betyr formen og størrelsen til korn, matrisen og porestrukturen, påvirker sterkt porøsiteten og permeabiliteten til formasjonen. Inntil nå har kjennskap til bergtekstur vært skaffet gjennom arbeidsintensive undersøkelser basert på kjerneanalyse. Denne analysen omfatter å ta kjerneprøver av formasjonen, bringe prøvene til overflatene og 10 deretter skjære opp eller tynt seksjonere prøven for undersøkelse under optiske mikroskoper.

For tiden kan mikroresistivitetsmålinger skaffe en måling av en borehullvegg. Se f.eks. US-PS nr. 5 038 378 (Chen). Også optisk spektroskopisk analyse kan gi informasjon om borehullveggen. Se f.eks.

15 US-PS nr. 4 994 671 (Safinya & al.). Fjernsyns- og stillbildekameraer er blitt foreslått for å betrakte borehull gjennom gjennomsiktige plugger av fluid og med bruk av synlig eller nær-infrarødt lys. Se US-PS nr. 2 953 979 (Rosene & al.). Videokameraer er blitt foreslått for å frembringe en avbildning av en borehullvegg eller et foringsrør. Se f.eks. US-PS nr. 5 134 471 (Gendron & al.) og 5 140 319 20 (Riordan). Det foreligger imidlertid et behov for en teknikk til avbildning av en borehullvegg i en grunnformasjon med forbedret romlig oppløsning for ytterligere å karakterisere bergteksturen til borehullveggen gjennom formasjonsfluider såsom filtratvann, slam og olje.

Oppfinnelsen angår en fremgangsmåte og et apparat for avbildning av et intervall 25 av en bergformasjon under jordens overflate i en mikroskopisk skala. I tillegg angår oppfinnelsen en fremgangsmåte og et apparat for å karakterisere egenskaper ved en grunnformasjon. Oppfinnelsen innbefatter å skaffe gjennom formasjonsfluider et første signal som omfatter en todimensjonal representasjon av et parti av en formasjon, idet bølgeenergi er blitt reflektert fra partiet av 30 formasjonen for å frembringe det første signal, og å karakterisere en formasjonsegenskap basert på det første signal.

I henhold til en utførelse angår oppfinnelsen et apparat og en fremgangsmåte som benytter et borehullverktøy for å skaffe data vedrørende formasjonsegenskapene. Oppfinnelsen innbefatter isolasjon av et intervall av formasjonen fra 35 borehullfluidene, å fjerne formasjonsfluid fra det isolerte intervall av formasjonen, å frembringe bølgeenergi som reflekteres fra det isolerte intervall og å motta energien, og å generere signaler som er representative for et parti av det isolerte

intervall av formasjonen. I en annen utførelse representerer signalet bergteksturen til formasjonen.

I henhold til en annen utførelse angår oppfinnelsen et nedhullverktøy for å skaffe data vedrørende formasjonsegenskaper. Verktøyet omfatter en samplinganordning med et innløp for å skaffe fluidforbindelse mellom formasjonen og det indre av verktøyet, en pakning montert tilstøtende innløpet for å isolere et intervall av formasjonen fra borehullfluidene som befinner seg bortenfor pakningen, en pumpe for å hente fluid fra formasjonen gjennom innløpet i samplinganordningen og en anordning for å generere et signal som omfatter en todimensjonal representasjon av et parti av det isolerte intervall av formasjonen.

En annen utførelse omfatter å angi en egenskap for en formasjon. Dette innbefatter å danne hovedsakelig nær-infrarødt (NIR) lys, slik at NIR-lyset passerer gjennom den opake formasjonsfluid i et borehull for å belyse en overflate i borehullet, å motta NIR-lyset som reflekteres fra overflaten i borehullet og gjennom den opake formasjonsfluid, og å generere et signal som respons på det mottatte NIR-lys, idet signalet omfatter en todimensjonal representasjon av overflaten til borehullet og angir en egenskap ved formasjonen.

Pakningen kan omfatte selve sonden eller en pute som omgir sonden og tvinges mot borehullveggen. Pakninger langs etter et borehullverktøy kan også isolere et intervall av borehullveggen. Slike pakninger omfatter inflaterbare pakninger, kompresjonspakninger eller sementplugger etc., som når de er plassert i borehullet isolerer et intervall av formasjonen fra et annet. Formasjonsintervallene kan avbildes med elektrooptiske, ladningskoblede innretninger (CCD) eller et kamera som arbeider i det synlige og/eller nær-infrarøde område eller med ultralydtransdusere som arbeider i f.eks. området sub-MHz til midlere Ghz. Videre kan i kveilrørapplikasjoner produksjonsloggingsapplikasjoner eller applikasjoner med logging under boring en overflate i et borehull, såsom en borehullvegg eller et foringsrør, avbildes gjennom formasjonsfluider såsom gass, vann, vannfiltrat, slam eller olje.

Fig. 1a-b viser en skjematisk gjengivelse av et kjent borehullverktøy for å hente prøver fra en grunnformasjon.

Fig. 2 viser en skjematisk gjengivelse av et apparat for å fremstille representasjoner av en borehullvegg og som bæres av verktøyet på fig. 1.

Fig. 3 viser det optiske tetthetsspektrum for borehullfluidprøver.

Fig. 4a og 4b viser digitaliserte, mikroskopiske NIR-avbildninger.

Fig. 5 viser en eksperimentell oppstilling.

Fig. 6a-b viser mikroskopiske avbildninger av en berea-bergoverflate.

Fig. 7a-c viser inngrepet av en sonde med en bergoverflate.

Fig. 8a-b viser mikroskopiske avbildninger av berea-sandsten med to slam.

5. Generelt beskriver den umiddelbart følgende tekst transport av fluider med en valgt rate ut av en grunnformasjon gjennom en sonde og inn i et borehullverktøy og deretter avbildning av en bergformasjonsoverflate med en elektrooptisk innretning i sonden.

10 Fig. 1a-b viser ved A en skjematisk gjengivelse av et borehullverktøy for å hente prøver fra en grunnformasjon og gjøre trykkmålingene anvendelige til å beregne formasjonspermeabilitet. Som omtalt i US-PS nr. 4 860 581 (Zimmerman & al.), innbefatter et slikt borehullverktøy en hydraulisk kraftmodul C, en pakningsmodul P og en sondemodul E. Den hydrauliske kraftmodul C innbefatter en pumpe 16, et reservoar 18 og en motor 20 og en lavoljebryter 22 som er koblet for å styre pumpen 16. En hydraulisk fluidlinjeledning 24 er forbundet til utløpet på pumpen 15 16, går gjennom den hydrauliske kraftmodul C og inn i tilstøtende moduler P og E (eller F) for å skaffe hydraulisk kraft. En annen hydraulisk fluidledning 26 strekker seg fra sondemodulen E tilbake til den hydrauliske kraftmodul C og ender ved reservoaret 18. En utpumpingsmodul M støter ut uønskede prøver i borehullet ved å pumpe en flyteledning 54 eller ved å pumpe inn fluid fra borehullet for å plassere eller inflatere sittepakninger 28 og 30. Sittepakninger er ytterligere beskrevet i US-PS nr. 4 860 581.

25 Sondemodulen E har en sondemontasje 10 for å skaffe formasjonsfluidsampler for å f.eks. utføre isotrope permeabilitetstester. En sondeaktuator 40 beveger selektivt sondemontasjen 10 relativt til borehullverktøyet. En sonderamme 46 er omgitt av en pakning 48 som omfatter en pute av f.eks. sammenpresset gummi. Pakningen 48 kan beveges relativt til borehullverktøyet A og sonden 46 kan beveges relativt til pakningen 48. Som sådan kontakterer initielt pakningen 48 borehullveggen. Utvidelse av pakningen 48 fører sonden 46 nært til borehullet. For virkelig å ta en prøve fra formasjonen er det nødvendig å sette sonden 46 inn i formasjonen 30 gjennom slamkake som dekker borehullveggen. Følgelig virker borehullverktøyet A slik at når flyteledningen 24 står på linje med flyteledningen 44, beveger sonden 46 seg relativt til pakningen 48 og rager inn i formasjonen. Sondene 12 og 14 arbeider på lignende måte.

35 En flersondemodul F kan tilføyes for anisotrope permeabilitetstester og vertikale reservoartester som omtalt i US-PS nr. 4 860 581 (Zimmerman & al.). Trykkmodul B, fluidanalysemodul D og strømningskontrollmodul N er omtalt i detalj i US-PS nr. 4 860 581.

Etter å ha satt pakningene 28 og 30 for å isolere et intervall av formasjonen, kan sonden 46 plasseres for å hente fluider fra grunnformasjonen. En sampelflyteledning 54 strekker seg fra den ytre omkrets 32 mellom pakningene 28 og 30 gjennom tilstøtende moduler og inn i sampelmoduler (se f.eks.

- 5 US-PS nr. 4 860 581). Den vertikale sonde 46 og synkesonden 14 tillater formasjonsfluider å komme inn i sampelstrømlinjen 54. Når det tas initiale sampler angir nedhulls optisk spektralanalyse at det første fluid som er hentet er synlig fordi den vanligvis da er forurenset av slamkake og filtrat. Utpumpingsmodulen M kan benyttes til å spyle slike initiale prøver.
- 10 I henhold til denne beskrivelse fortsetter borehullverktøyet å hente formasjonsfluid gjennom prøveledningen 54. Påfølgende prøver forandrer seg fra forurenset fluid til hovedsakelig filtratvann før de igjen forandrer seg for å produsere olje. Når det kontinuerlig uttatte formasjonsfluid er vann, kan en avbildning av borehullveggen dannes med bruk av synlig lys. Dette bildet avslører formasjonens bergtekstur. Selv
- 15 når det kontinuerlig uttatte formasjonsfluid hovedsakelig er oljebasert slam eller selv olje, kan alternativt en avbildning av borehullveggen også dannes med bruk av nær- infrarød stråling. Denne avbildning avslører også formasjonsbergtekstur. Slike avbildninger av formasjonen har tilnærmet en oppløsning på 5 mikrometer. Skalaer for teksturelle trekk ved bergarten er i størrelsesorden 10 mikrometer eller lavere.
- 20 Avbildningene omdannes til elektroniske signaler for overføring opp gjennom borehullet for visning eller tolkning for å karakterisere formasjonsegenskapene. Forskjellige innretninger for å danne borehullavbildninger som angir bergtekstur er beskrevet nedenfor.

- Fig. 2 viser skjematisk en mikroskopisk avbildningsmodul 100 i et borehullverktøy
- 25 likt A på fig. 1. Sondemodulen 10 i verktøyet A på fig. 1 er modifisert for å innbefatte en optisk avbildningsinnretning innenfor sondemodulen som er en del av flyteledningen 102.

- Den skjematisk gjengivelse viser en inntrekkbar sonde 104 som danner et trykksete med borehullveggen 106. Et inntrekkbart optisk vindu 108 og en
- 30 fiberoptisk lysleder I 10 er skjøvet frem med sonden 104. Fiberlyslederen I 10 er forbundet med en lyskilde 112 for å belyse borehullveggen 106. Lyskilden 112 kan være en wolfram halogenlampe eller en smalbånds høyintensitets lysemmitterende diode eller laser som er tilpasset responsen til kameradetektoren. Lyskilden kan være en kontinuerlig kilde eller en lynlyskilde. Det optiske vindu 108 benyttes som
- 35 et betraktningvindu og tryktpakning for etterfølgende optikk. Flyteledningen 102 og den optiske vei deler seg i to. Flyteledning 102 fortsetter for bruk i andre verktøymoduler. Den optiske vei er koblet til et kamera, lyskilden og dens tilhørende elektronikk, beskrevet nedenfor.

Alternativt kan den optiske montasje på fig. 2 settes sammen som en del av verktøyet i henhold til US-PS nr. 4 860 581, mellom to pakninger. Eller den optiske montasje på fig. 2 kan monteres som en del av et borehullproduksjonsverktøy, et kveilrørsystem eller et verktøy for logging under boring for direkte å betrakte en borehulloverflate, såsom en borehullvegg eller en borehullforing gjennom klare eller opake formasjonsfluider som foreligger i borehullet. Slike formasjonsfluider innbefatter vann, vannfiltrat, slam, olje og/eller gass. I produksjonslogging kan den optiske montasje forsegles i et hus og senkes ned i borehullet med en kabel eller f.eks. skyves gjennom kveilrørene. For kveilrøranvendelser kan den optiske montasje forsegles i et hus og skyves til et intervall av formasjonen mellom doble pakninger (hvis nødvendig) som isolerer intervallet av formasjonen. I anvendelser ved logging under boring er den optiske montasje montert bak et vindu i et vektrør. Et vindu i et vektrør er beskrevet i US patentsøknad serienr. 08/402 680 (Mullins & al.).

Overføringsoptikk 114 innbefatter et linsesystem koblet med en koherent fiberoptisk bunt eller kan konstrueres utelukkende av linseoptikk. Skjematisk gjengitt er en rettvinklet prisme 116 og et linseelement 118 eller elementer (såsom speil eller andre reflektorer) som bøyer den optiske bane med  $90^\circ$  og forstørrer og overfører avbildningen av borehullveggen 106 til et kamera 120. Linsene til "x-clay optics" er valgt for å skaffe en forstørret avbildning av borehullveggen til kameraets deteksjonsplan via overføringsoptikken. Denne linsemodul har en justerbar zoom (forstørrelse) og fokuseringsmulighet. Kameraet 120 omfatter kamerahodet 122, en dimensjonell ( $n \times n$  piksler) detektor i kamerahodet, kamerakontrollenhet og prosesseringselektronikk. Kameradetektorene er enten en silisiumbasert detektor og/eller en InGaAs-basert detektor, følsom i NIR. Utgangssignalet fra et slikt kamera er et signal som er representativt for en todimensjonal avbildning og innbefatter f.eks. en digital videoutgang.

Kameraet har en kamerakontrollenhet som skaffer elektriske signaler og klokkesignaler til kameradetektorhodet. Denne modulen tillater overføringen av elektroniske signal fra  $n \times n$  piksler som utgjør kameradetektoren til prosesseringselektronikken for avbildningen. Kamerakontrollenheten omfatter fokus- og zoom-kontrollinnretninger.

Prosesseringselektronikken 126 kan modifisere enhver avbildning eller ethvert signal som utgjør en todimensjonal representasjon av et formasjonsintervall, innsamlet ved kamerahodet og gjør den egnet for å overføres opp hullet til standard datakontrollenheter og kabel eller overføre signaler som er representative for trekk av det mottatte formasjonsintervall. Denne innretning kan utføre funksjoner såsom å fjerne 2-D bakgrunnssignaler, korrigere for ujevn piksel-(detektor-)respons eller 2-D signalforbedring ved hjelp av signalbehandlingsmetoder.

Den elektrooptiske avbildningsenhet på fig. 2 kan omfatte en ladningskoblet innretning (CCD). CCD-er er basert på veletablert halvlederarkitektur og omfatter en metalloksidsilisium-(MOS-)kondensator. Kondensatoren består av et silisiumsubstrat, et tynt sjikt av silisiumdioksid og en tynnmetallsjiktport på silisiumdioksid-sjiktet. Slike silisiumbaserte avbildningsenheter omformer en optisk avbildning eller en romlig fordeling av strålingen til et tidsfordelt spenningsignal. CCD-er dekker det synlige bånd og de kortere bølgelengder til nær-infrarødbåndet (0,4 til 1,1 mikrometer). Kommersielt tilgjengelige CCD-er og bildehenteutstyr, se eksemplet, arbeider med lite lys og har tilstrekkelig dynamisk område til å skaffe et minimum på 256 gråtoner.

I tillegg til CCD-er av MOS-typen kan den elektrooptiske avbildningsenhet omfatte InGaAs-baserte innretninger eller InGaAs-silisium-baserte innretninger i en 2-D matrise som omtalt nedenfor. Valget av en elektrooptisk avbildningsenhet for å arbeide i det synlige lysområdet avhenger av fluidet som dekker bergoverflaten. I tilfellet av en frakturert overflate av sandsten med noen få mm farget slamfiltrat mellom avbildningsenhetens linse og bergets overflate, hvilket kan foreligge i borehullet via f.eks. klare fluider, såsom slamfiltrat, tilgrummes av suspenderte sedimenter og strømme inn i en formasjonstestsonde. Hvis den optiske vei mellom bergformasjonen og detektoren ikke er klar, er en annen mulighet å injisere klare fluider inn i formasjonen som beskrevet i US-PS nr. 5 269 180 (Dave & al.). I begge tilfeller kan størrelsen og formen til hvert individuelt korn lett karakteriseres ved hjelp av en slik høykontrastavbildning.

Den elektrooptiske avbildningsenhet på fig. 2 kan omfatte et kamera som arbeider i det synlige, nær infrarøde spektrum for avbildning gjennom optake formasjonsvæsker.

Avbildning av bergprøver i et borehullmiljø ville innebære avbildning gjennom opake borehullfluider (vannfiltrat, lette til tunge råoljer). Det er blitt testet et synlig nærinfrarødt (VIS-NIR) kamera, og det er blitt funnet at det kan avbildes gjennom slike opake formasjonsfluider. Denne teknikken krever en lyskilde og en nær-IR-detektor som arbeider med en passende bølgelengdeoppløsning. Problemet med slamkakefjerning gjennom et åpent vindu på en kontinuerlig eller stasjonær måte er omtalt nedenfor.

Først ble gjennomsiktigheten til borehullfluider undersøkt ved avbildning gjennom separate 2,5 mm tykke prøver, et representant for en mørk, tung råolje (en Strata-oljeprøve) og den andre av klart vann. Fig. 3 viser det optiske tetthetsspektrum for disse to prøver. I det synlige lys har det representative mørke hydrokarbon en optisk svekking som er større 6 størrelsesordner over den for klart vann. I NIR har oljen en liten absorpsjonstopp nær 1,7 mm, og lysabsorpsjon på grunn av

elektronoverganger over 0,9 mm er ikke på langt nær så stor som i det synlige området. Vann har dessuten i nærinfrarødt også to temmelig store molekytlære absorpsjonstrekk nær 1,4 og 2,0 mm, men er ellers forholdsvis gjennomsiktig. Derfor har både olje og vann gjennomsiktighetsvinduer som kan benyttes slik at det integrerte lyssignal under 2,0 mm skulle skaffe tilstrekkelig lys for en anvendelig  
5 avbildning. Alternativt kan en høyintensitets lyskilde i et smalt bånd inn i NIR (f.eks. laser eller LED) benyttes. Eksperimenter viser muligheten for avbildning gjennom olje såvel som andre begrensninger av bildekontrasten på grunn av nærværet av oljen.

- 10 Fig. 4 viser a) en avbildning av en upolert overflate med ingen oljeprøve og synlig lys og b) en avbildning av samme bergoverflate med NIR-lys gjennom samme råoljeprøve. Fig. 4b er det resulterende digitaliserte mikroskopiske NIR-avbildning gjennom en 2,5 mm prøve av strataolje. Sammenlignbare avbildninger tatt i det synlige spektrum frembrakte ikke noen avbildning i det hele tatt. Selv om oljen  
15 virker som et filter, ble bergprøven belyst med NIR-lys mellom 1,0 mm og 2,0 mm. NIR er generelt definert som 0,75 til 3,0 mikrometer. Det foretrukkede område for NIR er generelt over synlige bølgelengder eller ca. 2,2 mikrometer. Kornstørrelsene for denne prøve er store, omtrent 300 mikrometer i diameter. For dette formål blir romopløsning en avveining mellom forstørrelse og synsfelt. For relativt lav  
20 forstørrelse av denne avbildning, er den uavhengige verifiserte høykontrastavbildningsopløsning 12 mikrometer. En avbildning med tilsvarende høy kvalitet ble også tatt gjennom en vannprøve på 2,5 mm. Som referanse viser fig. 4a den samme bergart avbildet med synlig lys og uten tilstedeværelse av olje. Det ses at avbildningene på fig. 4a og 4b er bemerkelsesverdige like. Det kan derfor  
25 trekkes den konklusjon at opasiteten til borehullfluidet ikke vil forringe avbildningen i NIR.

- For kabelbruk tilbyr en ny indiumgalliumarsenid (InGaAs-)detektor i 2-D matrise silisiumtelse, men for infrarødanvendelser hvor nærinfrarød deteksjon ble foretatt med detektorer av blysvulfid (PbS), germanium (Ge) eller indiumantimonid (InSb).  
30 Fordelen ved InGaAs skyldes dens direkte energibåndgapstruktur og dens avstembare legeringssammensetning som dekker spektralområdene med 0,9 til 1,7 mikrometer. En InGaAs-detektor gir det største integrerte signal over et bredt område av fluidfarge og håndterer best fargekontrast mellom olje og vann på store avstander. Denne detektor har ikke ulempen til PbS-matriser med deres langsomme  
35 hastighet eller fotodiodematriser såsom InSb som krever kryogen kjøling og som er svært kostbare. Med sin hastighets-temperatur- og følsomhetsfordeler og et forventet fall i kostnader kunne en InGaAs 2-D-matrise benyttes til avbildning av nærinfrarødbølgelengder i lys i et åpent hull. Også InGaAs lagt over silisium vil gi

en synlig nærinfrarød-(VIS-NIR-)detektor. NIR-partiet av silisium alene vil gi en detektor som er egnet for mindre opake formasjonsfluider.

Den elektrooptiske avbildningsenhet på fig. 2 kan omfatte en akustisk skannemikroskopiavbildningsenhet, såsom f.eks. en ultralydabildningsenhet.

5 Akustisk skannemikroskopi er en høyopløsnings avbildningsteknikk for å karakterisere overflater og elastiske egenskaper under overflaten for en gjenstand under undersøkelse. Mekanisk bevegelse driver en fokusert akustisk transduser perpendikulært på overflaten av objektet. Den akustiske skanneinnretning arbeider i refleksjonsmode. Det vil si at en kort puls eksiterer transduseren og multiple  
10 ekkoer i systemet tidsadskilt. Ankomsttiden for ekkoet angir avstanden til tilsvarende reflektor fra den akustiske transduser. Størrelsen på det første returekko gir et estimat på objektets refleksivitet. Datainnsamling utføres kontinuerlig mens skanneren befinner seg i kontinuerlig bevegelse. Skanning over et objekt bygger opp en avbildning som representerer refleksiviteten til objektet, punkt for punkt.

15 Akustisk mikroskopi kan strekke seg over området sub-MHz til mid-GHz, med bruk av en rekke koblingsvæsker. For lav GHz-drift i vann oppnår akustisk mikroskopi romlig oppløsning tilsvarende optisk mikroskopi. Med bruk av en akustisk avbildningsenhet ses kvartskorn som er forholdsvis grove i området 50-  
20 205 mikrometer, og avslører veldefinerte grenser. I dette tilfellet kan den akustiske avbildning ha en bedre kontrast enn den optiske avbildning. Overflateruhet kan ha signifikant negativ effekt på refleksivitetsavbildningen og den nøyaktige inversjon av sann akustisk impedans.

Nedenfor beskrives eksperimentell undersøkelse av teksturavbildning under  
25 sampling av slamfiltrat gjennom en sonde med 1 cm diameter presset mot en bergoverflate. Det ble funnet at kvalitative prediksjoner av den fysiske tilstand av slamkaken kan gjøres når fluidblandingen trekkes tilbake. Nøkkelideen er å vise at stasjonær sampling gir slamkakefjerning og etterlater bare formasjonsvæsker (klare eller opake overfor fotodetektoren) mellom bergprøven og et matrisekamera. Kjennskap til fluidtilstandene og slamkakefjerningsprosessen i sonden vil gi den  
30 nødvendige informasjon ved utførelsen av det optiske utstyr som er nødvendig for å avbilde formasjonens bergoverflater.

Fig. 5 viser en trykksøyle og skjematisk gjengivelse av den eksperimentelle oppstilling. Eksperimenter ble utført i en røntgengjennomsiktig celle fremstilt av pleksiglass og epoksy for 400 psi. Det porøse faste stoff var en berea-sandsten med  
35 100 md permeabilitet og en porøsitet på 0,18. Bergprøven var på 10x10x5 cm, og hver plate av prøven ble tettet med epoksy. Den ene overflate som var blottlagt overfor fluider, var utettet. Et krumt pleksiglasskammer som strakk seg over hele overflaten, ble festet på én ende. Kammeret inneholdt slam og ble holdt under

hydrostatisk trykk slik at det kunne dannes en slamkake. Et rør med diameter 1 cm som ble benyttet som en sonde, ble montert ved sentrum av beholderen som angitt på fig. 5. En aktuator (ikke vist på fig. 5) ble benyttet til å skyve og å sette sonden mot bergoverflaten. En åpning i epoksiet på den annen side av berget motsatt av prøven var også synlig i røntgensvekkingsspillet tatt med CT-skanner av trykkcelleoppstillingen. Den gir en forbindelsesvei for slamfiltratet mellom bergformasjonsfluidet og et reservoar.

For avbildningsformål ble et miniatyrboroskop med 4 mm diameter av serien Titan G med en lengde på 365 mm satt inn i sonden. Boroskopet er fremstilt av en serie av miniatyrlinser som benytter et stavlinseoverføringskonsept. Et slikt system av overføringslinjer er effektivt når det er ønsket å føre et bilde over en relativt lang avstand og den tilgjengelige rom begrenser diameteren av linsene som kan benyttes. Belysningen benytter kaldlys-fiberoptikk og lyset bringes til fronten av boroskopet ved hjelp av en serie av glassfibre som helt omgir frontobjektivlinsen og som gjør at lyskilden kan plasseres på avstand av boroskopet. Lysintensiteten ble styrt av en reostat for å maksimere lysutbyttet. Den optiske montasje ble montert inne i sonden med det fokuserbare okular isolert fra fluidet ved hjelp av et sett av trykpkninger.

Fig. 6 viser en sammenligning mellom a) et optisk bilde innsamlet med et Titanboroskop og dets innvendige fiberoptiske belysning og b) den samme avbildning tatt med en ekstern lyskilde. Fig. 6a viser den mikroskopiske avbildning av berea-bergoverflaten. Lysringen skyldes en innvendig refleksjon ved innerveggen av høytrykksvinduet. Lyset kan føres til fronten av boroskopet fra et punkt på siden av det og med en egnet vinkel for å unngå denne refleksjonen, som angitt på fig. 6b.

Fokuseringsokularet til boroskopet ble kombinert med en videoadapter for å ta hånd om et CCD-videokamera. For det foreliggende formål ble det benyttet en SONY XC-75 med en CCD bestående av 768x494 effektive bildeelementer (horisontal/vertikal) som svarer til en celledørrelse (eller piksel) på 8,4x9,8 mikrometer. Utgangen fra kameraet bestod av en horisontal oppløsning på 570 TV-linjer med 485 vertikale effektive linjer. Utstyret Neotech Image Grabber tillater at et videobilde kan hentes og lagres. De resulterende avbildningsdata er en platefil bestående av 640x480 piksler (NTSC-format) og 256 gråtoner pr. piksel (8 bit). Fig. 4a-b, 6a-b, 7d-f og 8a-b er digitaliserte utganger med forskjellig forstørrelse fra dette systemet.

Slammet som ble benyttet, var en vanlig dispergert bentonittslam på vannbasis holdt på omtrent en pH på 10 ved tilsetning av kaustisk soda og dispergert med merkevaren New-thin fremstilt av Milchem. En slamsats ble fremstilt for disse eksperimenter i et 40 liters kar som benyttet kaldt vann fra springen. Bentonitt ble

satt til en kaustisk soda oppløsning med en konsentrasjon på 65 g/l med noen få dråper av New-thin avflokkingsmiddel. Biocide Aquatreat DNM-30 ble også tilsatt. Hele blandingen ble rørt i omtrent 4 timer med en Silverson-blander med stort skjær. Slammet ble tillatt å hydratisere og pH ble justert. Slammet stod natten over for å eldes og ble benyttet for en rekke eksperimenter over et tidsrom på 1 måned. Denne fremstillingsmetoden ga en forholdsvis reproducerbar slamreologi.

Etter montering av den epoksyserte bergprøve på filtreringscellen, ble apparatet trykksatt med komprimert nitrogen matet til et slamreservoar med total kapasitet på 2 l. Et maksimalt arbeidstrykk på 400 psi ble oppnådd på grunn av trykkcellekapasiteten. En skjematisk gjengivelse av slamsirkulasjonsoppstillingen er også vist på fig. 5. Slam flømmer fra reservoaret til cellen gjennom en åpning på siden av trykkammeret og drives ut av cellen gjennom sonden. Et ventiltett tillater fylling av cellen og evakuering av slammet gjennom sonden. Slamkakedannelse på bergets kontaktflate forekom under statisk filtrering når systemet ble tillukket med et konstant trykk på 400 psi i akkumulatoren. Den anslåtte filterkake tykkelse post mortem var 15 mm.

Forberedelse til eksperimentet begynte med å mette den epoksyserte berea bergprøve med destillert vann. Dette ble gjort under vakuum i en tank, hvilket resulterte i at prøven var fullstendig neddykket i vann. Trykkcellen ble deretter montert etter posisjonering av prøven og slam begynte å injiseres gjennom røret og sirkulerte gjennom sonden. På grunn av at slamreservoaret holdt slamsøyletrykket på konstant 400 psi og ikke noe motstandstrykk i bergprøven, ble det dannet en slamkake på berggrenseflaten. Filtratfluidtap ble samlet inn over 27 timer. Deretter ble bergprøvetrykket øket til 100 psi ved å tilkoble en trykktank fylt med destillert vann, samtidig som slamsøylen ble holdt på 400 psi, og etterlot den statiske slamkake på plass mellom bergprøvene og slamsøylen.

Fig. 7a-f er skjematisk gjengivelser (a-c) av tre forskjellige eksperimentelle betingelser med de tilsvarende digitale videobilder (d-f). Slammet er opakt i det synlige område (a) og kornene er synlige når formasjonsfluidet er klart (b). Under avbildningseksperimentet ble en serie avbildninger innsamlet, mens aktuatoren ble benyttet til å posisjonere prøven inntil den berørte overflaten av bergprøven. Fig. 7a viser skjematisk gjengitt sonden i forbindelse med slammet og det tilhørende bilde av det digitaliserte videosignal. Som forventet, er bildet opakt. Når sonden var brakt i kontakt med bergoverflaten (fig. 7b), ble det dannet en kommunikasjonsvei til formasjonsfluidet. For å fjerne slamkaken og tømme den innvendige del av sonden, ble tømmingsventilen plassert på den andre ende av sonden og åpnet overfor atmosfæretrykk. Bergprøven ble holdt på et trykk på 100 psi, og tillot formasjonsfluidet å strømme.

I dette eksempel ble det funnet at det var nødvendig å benytte en tetningspakning eller en tetningspute for å isolere et intervall av formasjonen. For å forhindre det omgivende slamfluid på 400 psi fra å flømme sonden, ble det gjort bruk av brodannelse og tilstoppningsvirkningen av små partikler suspendert i fluidet for å danne en hydraulisk tetning mellom sonden og formasjonen (fig. 7b og c). For at tilstoppingsevnen til slamfluidpartikler effektivt skal isolere det indre av sonden, må spalten mellom sondespissen og formasjonsveggen beregnes å være mindre enn en spesifisert verdi som avhenger av størrelsen av den største partikkel i fluidet. Den resulterende tetning frembrakt av denne tilstoppingseffekt eliminerer behovet for å montere en pakningstetning omkring sondespissen. Videre gir utskifting av en pakningssondemontasje med en frittstående sonde en eksperimentell forenkling avhengig av ruheten til bergprøven. Det ble vist at et sett partikler i størrelsesområdet 0-12 mikrometer kunne danne bro (tilstoppe) spalter med bredder omtrent 30 ganger den største partikkelstørrelse under antagelse av at det er omtrent 10 % volumfraksjon av faststoff i slamfluidet. For et partikkelstørrelsesområde på ca. 150-200 mikrometer, er spaltebredden som kan tilstoppes redusert til 4 eller 5 ganger størrelsen av den største partikkelstørrelse. Den maksimale spalte mulig mellom sondespissen og borehullveggen avhenger av disse kriterier. Partikkelstørrelsesfordelingene for fem typiske boreslam fra MudTech varierer fra 1 mikrometer, hvilket er typisk for betonittpartikler til 200 mikrometer. Da borefluidet inneholder partikler så store som 200 mikrometer (borekaks kan være større), kan spalten mellom sondespissen og borehullveggen være i størrelsesorden 1/2 mm. Er spalten for bred kommer slam inn i sonden og forhindrer avbildning av bergoverflaten.

Fig. 7b viser skjematisk gjengitt eksperimentbetingelsen. Filtrat- og formasjonsfluidet samples under et differensialtrykk på 100 psi ved å åpne spyleventilen montert på baksiden av sonden vist på fig. 5, mens sonden er plassert mot bergformasjonen. Dette trykkdifferensial forårsaker sammenbrudd av slamkaketetningen. Gitt at tilstoppingseffektene ved prøvetakersonden foreligger, blir den digitale videoavbildning vist på fig. 7b uforandret under forløpet av prøvetakingen. Dette eksperimentet ble med hell utført en rekke ganger med den samme bergprøve, men med forskjellig slam.

Fig. 8 viser digitale avbildninger av berea-sandstenkorn under eksperimentering med to forskjellige slam. Sondens spiss står i kontakt med bergprøven, mens broeffekten avtetter slammet og slamkaken beveges av filtratfluidet. Disse eksperimenter frembrakte avbildninger med tilsvarende kvalitet som den på fig. 8. Dette er en klar antydning om at hele sondeområdet var åpent ovenfor strømning, at tilstoppingseffektene virkelig avtettet slammet og at slamkaken kunne renses med

inntil 100 psi differensialtrykk. Den viste også at individuelle korn som utgjør bergoverflaten, er klart synlige.

Et typisk enkeltbildes digital avbildning med et CCD-videokamera svarer til 640x480 piksler med 8 bits dybde og forbruker like under 2,5 Mbit minne. Dette store datavolum reduserer i høy grad dataoverføringshastigheten. Telemetri tillater overføring av ca. 500 kbit/s. Det kan således være nødvendig å benytte datakompresjon for å overføre alle piksler for behandling på overflaten. Den mest effektive form for kompresjon innbefatter å beregne den enkle korn størrelse nedhulls og deretter overføre den opp gjennom hullet. Se f.eks. US patentsøknad serienr. 250,196 (Auzerais & al.) søkt 27. august 1994 for en beskrivelse av stereo- og morfologialgoritmer.

Datakompresjonsmetoder innbefatter to hovedopplegg: tapsfri kompresjon og tapsbeheftet kompresjon. På den ene side reduserer tapsfri kompresjon en del av datamengden, men rekonstruerer de opprinnelige data. Tapsfri kompresjon benyttes til f.eks. å komprimere ASCII tekst. På den annen side gir tapsbeheftet kompresjon en akseptabel approksimasjon av de opprinnelige data med kompresjonsrater i en størrelsesorden over de ved tapsfri kompresjon. For stillavbildninger eksisterer det tilgjengelige kompresjonsalgoritmer såsom Px64; CIF, eller JPEG [ISO/IEC DIS 10918-1. Digital compression and coding of continuous-tone still image, januar 1992]. For bevegelige bilder foreligger det også kommersielt tilgjengelige kompresjonsalgoritmer, såsom MPEG [Quinnell, R.A., Image compression-Part 2, EDN, side 120, mars 1993].

Det er blitt beskrevet avbildning av borehullvegger på en mikroskala for å f.eks. vise kornstrukturen til en formasjon. Borehullforinger kan også avbildes. Det er blitt beskrevet avbildning av disse borehullflater ikke bare gjennom klare formasjonsfluider, men også gjennom opake formasjonsfluider. En slik avbildning kan benyttes til kabellogging, logging under boring, kveilirørboring og produksjonslogging.

## PATENTKRAV

1. Nedhullsverktøy for å skaffe data vedrørende formasjonsegenskaper, omfattende
  - en prøvetakeranordning (54) med et innløp for å skaffe fluidforbindelse mellom formasjonen og det indre av verktøyet,
  - en pakning (28, 30) montert tilstøtende innløpet for å isolere et intervall av formasjonen fra borehullfluider som befinner seg bortenfor pakningen,
  - en pumpe for å hente fluid fra formasjonen gjennom innløpet i prøvetakeranordningen (54),
- 5 karakterisert ved
  - en anordning for å generere et signal som omfatter en todimensjonal representasjon av et parti av det isolerte intervall av formasjonen.
- 10 2. Verktøy i henhold til krav 1, videre omfattende en anordning (114) for å reflektere bølgeenergi fra partiet av den isolerte formasjon.
- 15 3. Verktøy i henhold til krav 2, videre omfattende en InGaAs-detektor (120) for å motta bølgeenergi som reflekteres fra det isolerte parti av formasjonen.
- 20 4. Verktøy i henhold til krav 3, hvor pumpen (16) for å hente fluid omfatter en dyse for plassering tilstøtende formasjonen, slik at hovedsakelig formasjonsfluid strømmer gjennom dysen.
5. Verktøy i henhold til krav 2, hvor bølgeenergien er karakterisert ved synlig lys.
- 25 6. Verktøy i henhold til krav 2, hvor bølgeenergien er karakterisert ved nær-infrarødt lys.
7. Verktøy i henhold til krav 2, hvor bølgeenergien er karakterisert ved ultrasonisk energi.
8. Verktøy i henhold til et av kravene 5 til 7, hvor den todimensjonale representasjonen er en avbildning som angir bergtekstur for partiet av det isolerte intervall av formasjonen.
- 30 9. Fremgangsmåte for å skaffe data vedrørende formasjonsegenskaper med bruk av et nedhullsverktøy, omfattende
  - å skaffe fluidforbindelse mellom formasjonen og det indre av verktøyet gjennom et innløp til en prøvetakeranordning (54) i verktøyet,

- å isolere et intervall av formasjonen fra borehullfluider som befinner seg bortenfor intervallet med en pakning (28, 30) montert tilstøtende innløpet,
  - å hente fluid med en pumpe (16) fra formasjonen gjennom innløpet i prøvetakeranordningen (54),
- 5 karakterisert ved
- å generere et signal som representerer en todimensjonal representasjon av et parti av det isolerte intervall av informasjonen.
10. Fremgangsmåte i henhold til krav 9,  
videre omfattende å reflektere bølgeenergi fra et parti av intervallet for å generere signalet.
- 10
11. Fremgangsmåte i henhold til krav 10,  
videre omfattende å motta bølgeenergien som reflekteres fra partiet av intervallet med en InGaAs-detektor (120).
12. Fremgangsmåte i henhold til krav 11,  
15 omfattende å hente formasjonsfluid med en dyse (46, 48) plassert tilstøtende formasjonen, slik at hovedsakelig formasjonsfluid strømmer gjennom dysen.
13. Fremgangsmåte i henhold til krav 10,  
videre omfattende å reflektere bølgeenergi som er karakterisert ved synlig lys.
14. Fremgangsmåte i henhold til krav 10,  
20 videre omfattende å reflektere bølgeenergi som er karakterisert ved nær-infrarødt lys.
15. Fremgangsmåte i henhold til krav 10,  
videre omfattende å reflektere bølgeenergi som er karakterisert ved ultrasonisk energi.
- 25 16. Fremgangsmåte i henhold til et av kravene 13 til 15,  
hvor den todimensjonale representasjonen er en avbildning som angir bergtekstur for partiet av det isolerte intervall av formasjonen.

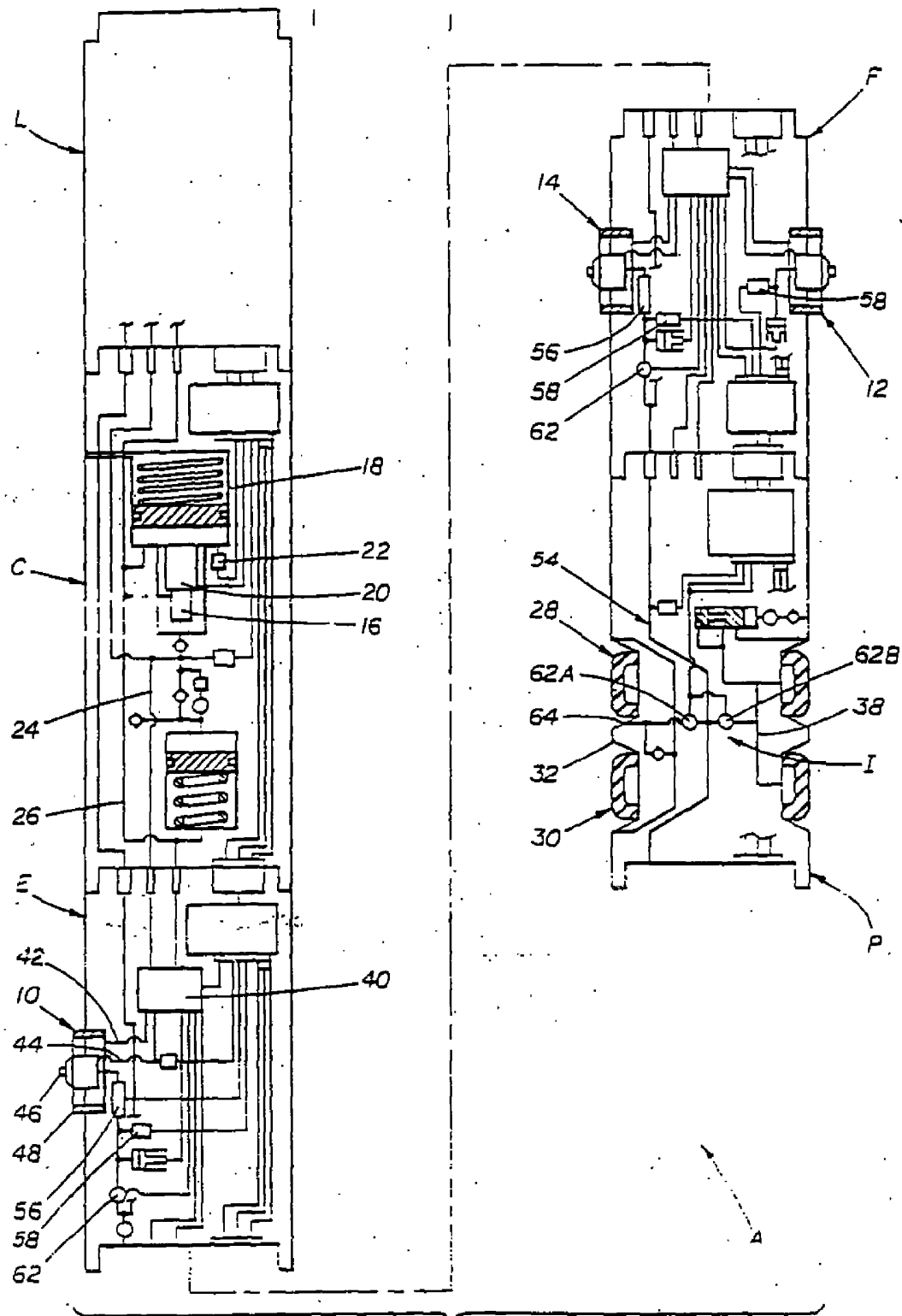


FIG 1a

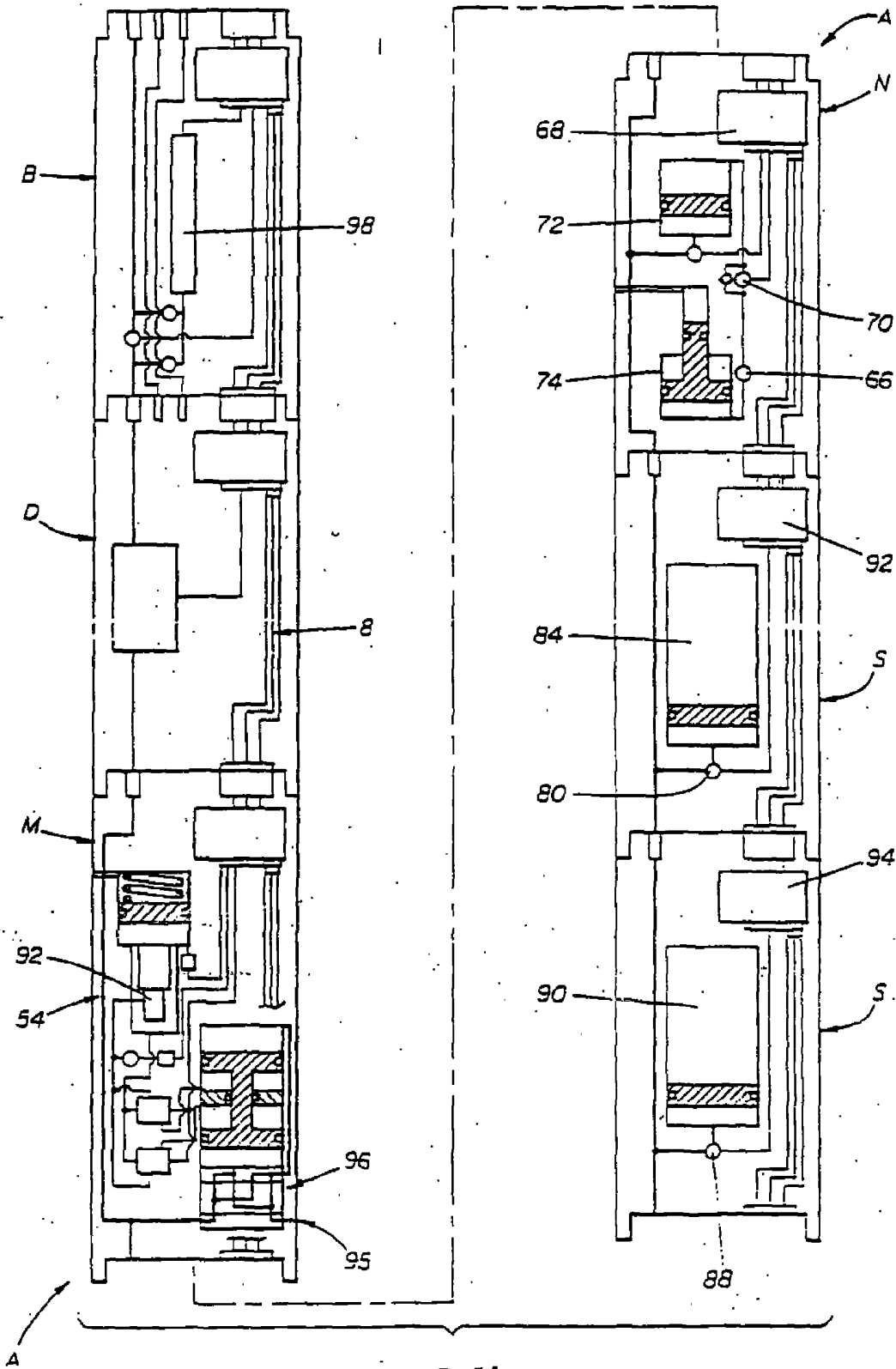


FIG 1b

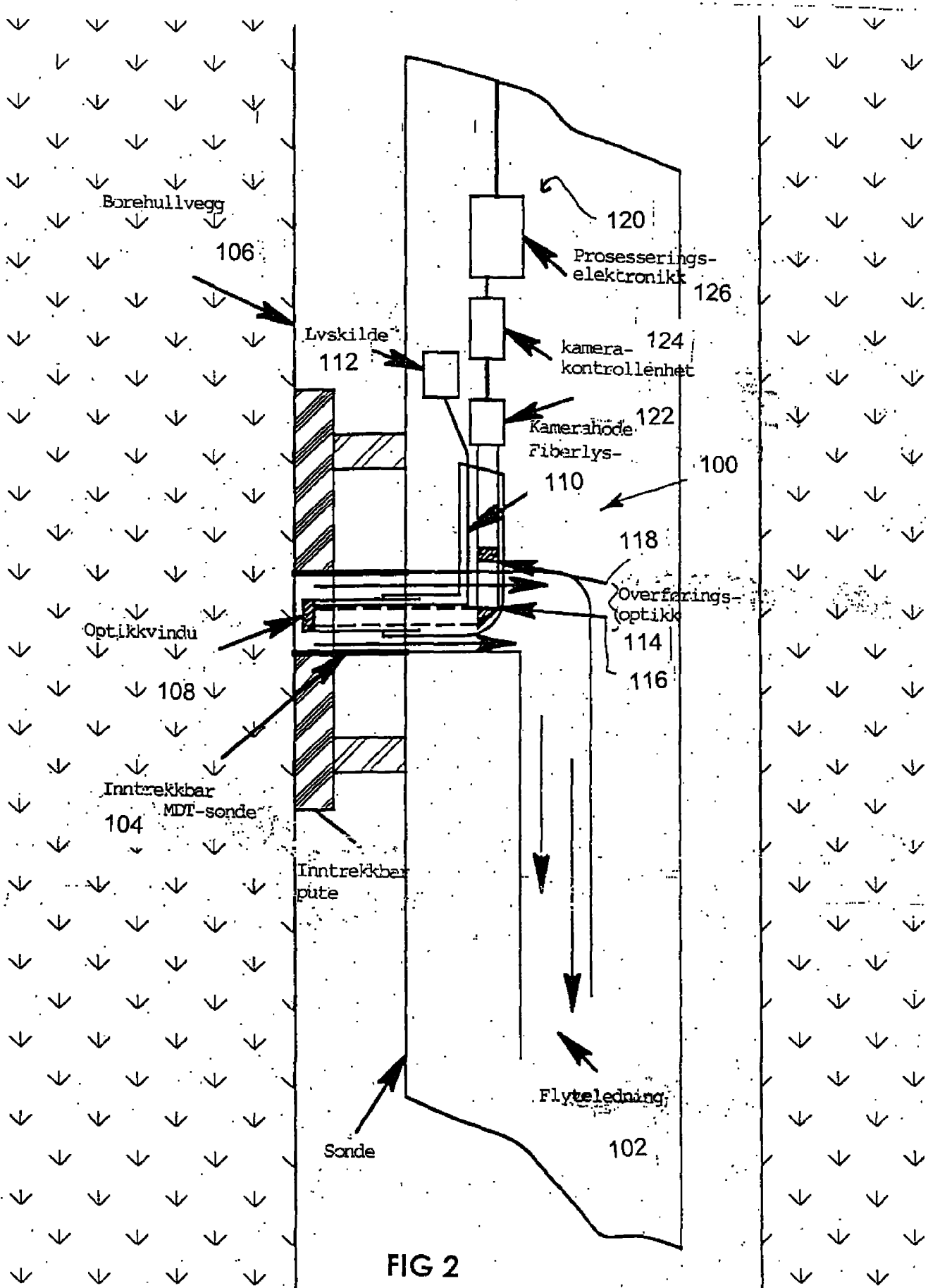


FIG 2

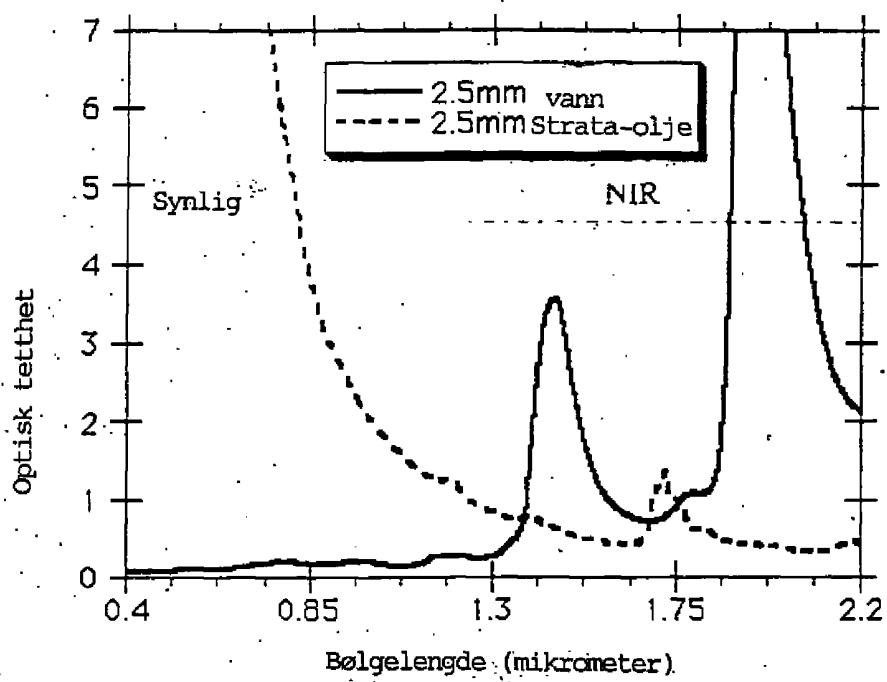


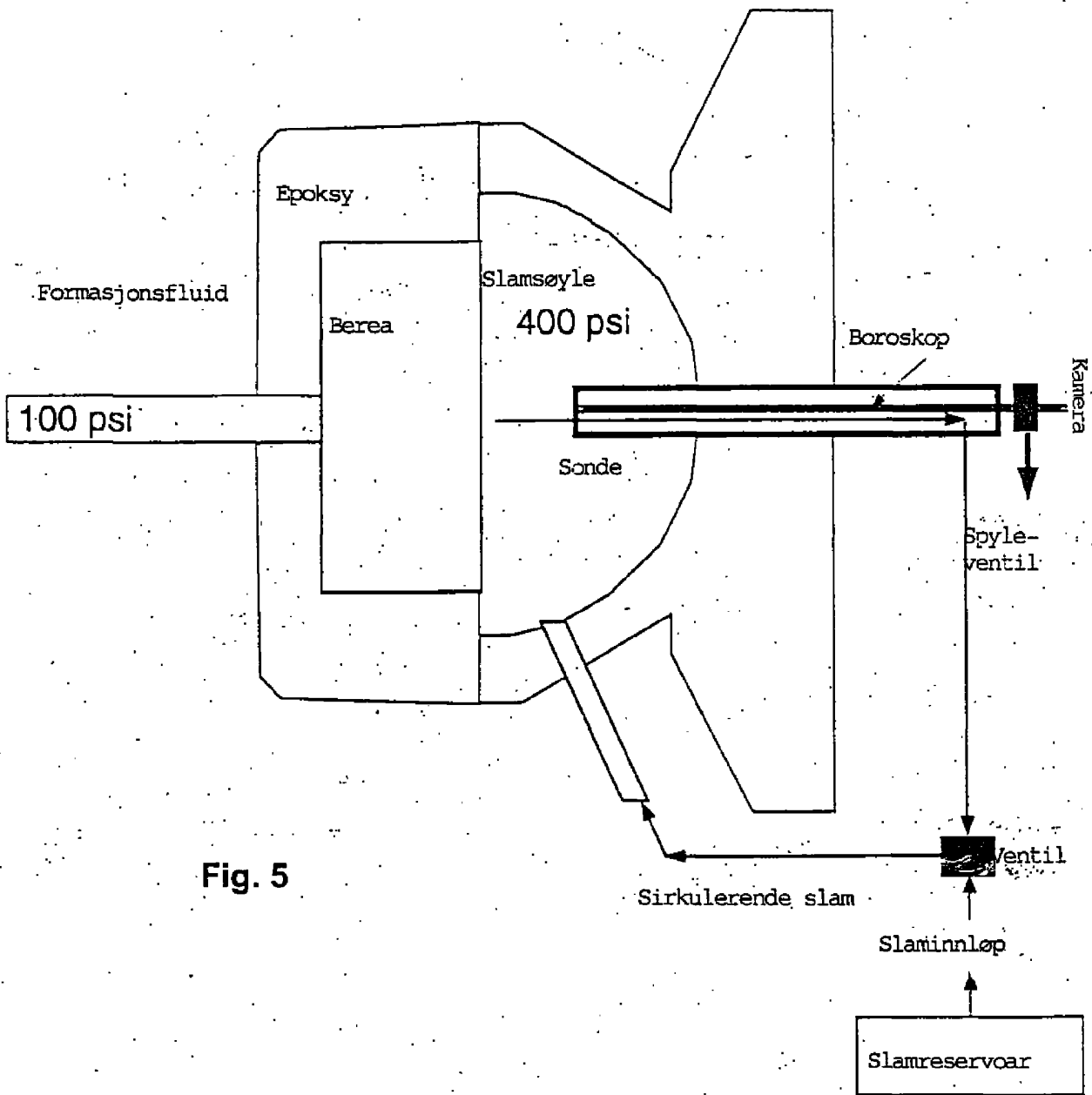
FIG 3



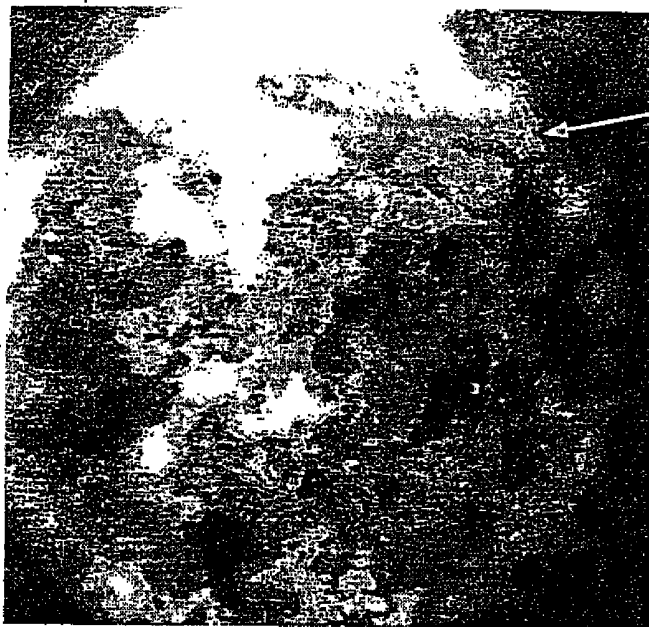
**Fig. 4a**



**Fig. 4b**



**Fig. 5**



Lysring

**Fig. 6a**



**Fig. 6b**

Fig. 7a

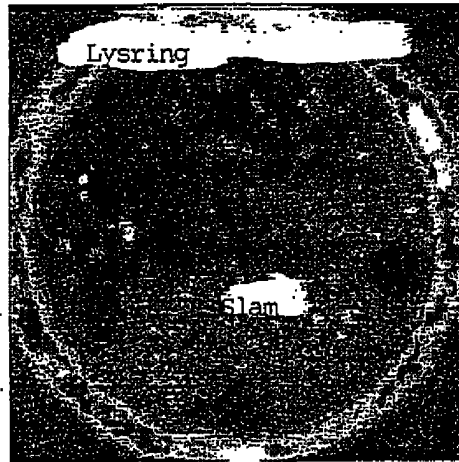
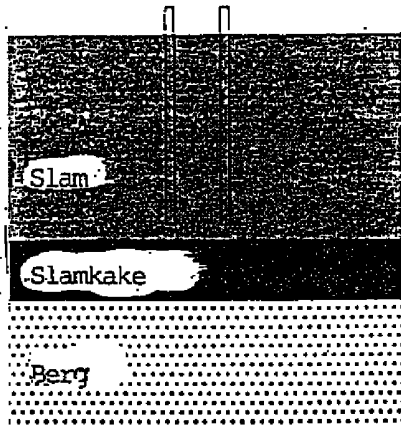


Fig. 7d

Fig. 7b

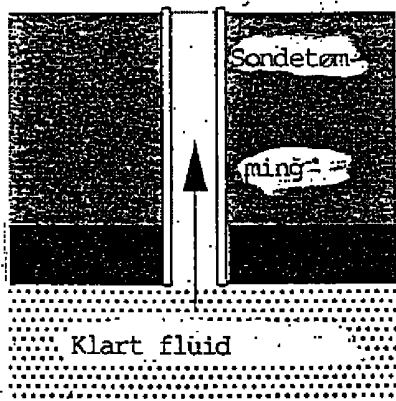


Fig. 7e

Fig. 7c

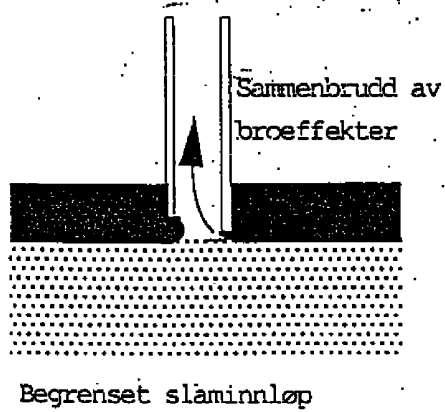
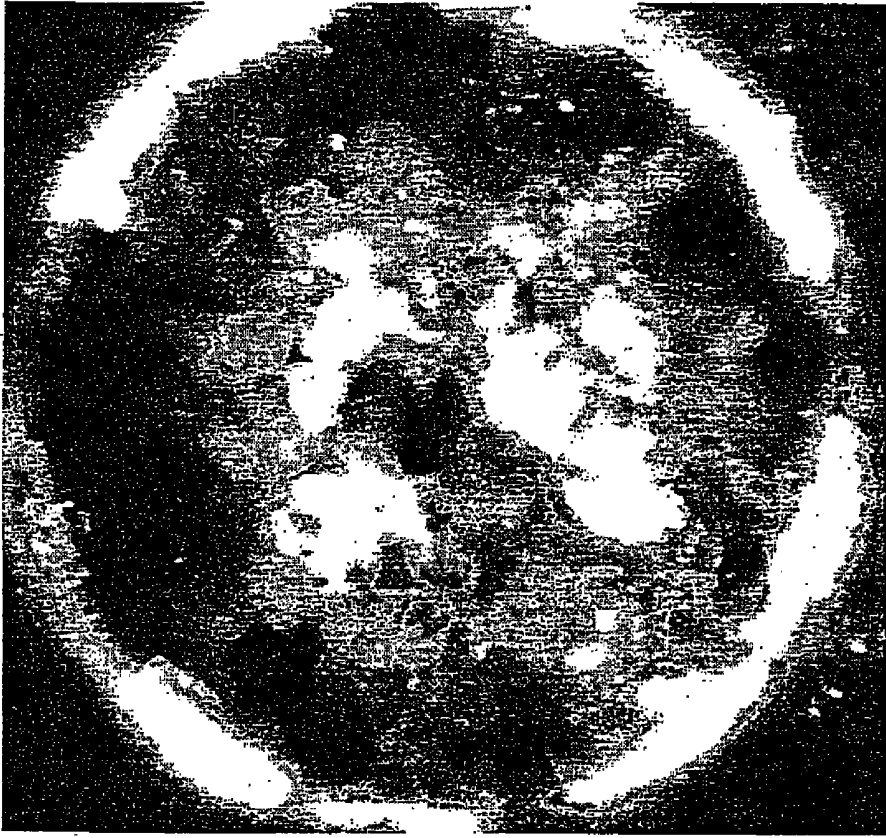


Fig. 7f



**Fig. 8a**



**Fig. 8b**