



República Federativa do Brasil  
Ministério da Economia  
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

**(11) PI 1002091-8 B1**



**(22) Data do Depósito:** 04/06/2010

**(45) Data de Concessão:** 22/06/2021

---

**(54) Título:** MÉTODO DE OBTENÇÃO DE MEIO POROSO ANISOTRÓPICO POR CO-COMPACTAÇÃO DIRETA E MEIO POROSO ANISOTRÓPICO OBTIDO

**(51) Int.Cl.:** B01D 25/24; C09K 8/00; E21B 1/00.

**(73) Titular(es):** PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. - PETROBRAS.

**(72) Inventor(es):** ALEX TADEU DE ALMEIDA WALDMANN; ANDRE LEIBSOHN MARTINS; DAYANA NUNES E SILVA; ATILA FERNANDO LIMA ARAGÃO.

**(57) Resumo:** MÉTODO DE OBTENÇÃO DE MEIO POROSO ANISOTRÓPICO POR CO-COMPACTAÇÃO DIRETA E MEIO POROSO ANISOTRÓPICO OBTIDO. A presente invenção descreve um método de obtenção por co-compactação direta de um meio poroso anisotrópico para avaliação das propriedades filtrantes de fluidos de perfuração, empregados em um ensaio de permeabilidade. O meio poroso obtido apresenta pelo menos duas áreas com diferentes características de permeabilidade, de forma a reproduzir em um mesmo ensaio, um comportamento de um fluido de perfuração em zonas de produção sequenciais que apresentam permeabilidades diferentes.

## **MÉTODO DE OBTENÇÃO DE MEIO POROSO ANISOTRÓPICO POR CO-COMPACTAÇÃO DIRETA E MEIO POROSO ANISOTRÓPICO OBTIDO CAMPO DA INVENÇÃO**

5 A presente invenção encontra-se no campo dos métodos de  
obtenção de meios porosos anisotrópicos para avaliação das propriedades  
filtrantes de fluidos de perfuração, empregados em ensaios de filtração  
estática.

### **FUNDAMENTOS DA INVENÇÃO**

10 Durante as operações de perfuração de um poço produtor de  
petróleo, as propriedades permoporosas dos reservatórios normalmente  
se apresentam de forma distinta entre eles.

No caso de reservatórios carbonáticos, observa-se dentre suas  
características principais, uma grande heterogeneidade.

15 A avaliação das propriedades filtrantes de fluidos de perfuração é de  
extrema importância para o desenvolvimento de projetos de formulações  
de fluidos para a perfuração de um poço de petróleo. A presente invenção  
descreve um método para a obtenção de meios porosos anisotrópicos  
para avaliação das propriedades filtrantes dos fluidos de perfuração em  
reservatórios heterogêneos.

### **20 TÉCNICA RELACIONADA**

Normalmente, para realização da investigação das propriedades  
filtrantes de fluidos de perfuração, é empregado um equipamento  
comercial.

25 O equipamento nada mais é do que uma célula de filtração para  
altas pressões e temperaturas (Filter Press HPHT) de modo a simular as  
condições de fundo de poço. Através dele é possível medir as taxas de  
filtração, a espessura e as propriedades permoporosas do reboco (torta de  
filtração) que é formado sobre o meio poroso. A determinação e  
otimização das propriedades permoporosas do reboco é de extrema  
30 importância no projeto de fluidos de perfuração.

Um volume fixo de fluido é colocado no interior de uma célula de filtração, sobre um meio poroso que apresenta uma permeabilidade constante e conhecida, normalmente em formato de um disco com uma determinada espessura, que pode ser constituído de papel de filtro, cerâmica ou aço sinterizado.

Após essa etapa, é aplicado um diferencial de pressão à célula com uma magnitude pré-estabelecida e de forma constante. O volume de fluido que atravessa o meio poroso é monitorado ao longo do tempo do ensaio.

O meio poroso existente é construído de forma a simular tanto a porosidade quanto a permeabilidade de formações naturais e, para tanto, existem em grande variedade de valores para o binômio porosidade e permeabilidade.

Os meios porosos de papel e de cerâmica disponíveis no mercado não possuem capacidade de suportar altas pressões e temperaturas, além de não serem capazes de simular o comportamento que um fluido de perfuração assumirá em meios heterogêneos, ou anisotrópicos.

Desta forma, não é possível realizar a avaliação de zonas de produção sequenciais, que tenham permeabilidades diferentes, muito comuns em reservatórios carbonáticos e, conseqüentemente, impossibilita a obtenção de dados seguros que possibilitem estabelecer uma formulação de um fluido de perfuração que não perca muito filtrado para o reservatório e que evite, desta forma, danos à rocha.

### **SUMÁRIO DA INVENÇÃO**

A presente invenção compreende um método de obtenção de um meio poroso anisotrópico para avaliação das propriedades filtrantes de fluidos de perfuração, empregados em um ensaio de permeabilidade e dos referidos meios porosos assim obtidos.

O método prevê a montagem dos meios porosos anisotrópicos por co-compactação direta. Neste caso a compactação será realizada numa única etapa, obtendo-se o meio poroso nas condições próximas das

objetivadas. Assim, uma cavidade de matriz será preenchida com dois pós diferentes, separados fisicamente, e compactados posteriormente.

O meio poroso obtido apresenta diferentes características de permeabilidade, onde as áreas de permeabilidade podem ser concêntricas ou distribuídas setorialmente, de forma a reproduzir em um mesmo ensaio um comportamento de um fluido de perfuração em zonas de produção sequenciais que apresentam permeabilidades diferentes.

### **BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS**

A Figura 1 é uma representação esquemática da rotina de obtenção de um meio poroso por co-compactação direta.

A Figura 2 é uma representação da vista em perspectiva do meio poroso obtido por co-compactação direta em uma configuração concêntrica.

A Figura 3 é uma representação da vista em perspectiva do meio poroso obtido por co-compactação direta em uma configuração semicircular.

A Figura 4 é uma representação da vista em perspectiva do meio poroso obtido por co-compactação direta em uma configuração setorial.

### **DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO**

Trata a presente invenção de um método de obtenção de um meio poroso em forma de disco com características anisotrópicas, que é montado em um equipamento de avaliação das propriedades filtrantes de fluidos de perfuração, onde este equipamento é empregado em ensaios de permeabilidade. Também compreende a presente invenção o referido meio poroso assim obtido.

O método para obtenção dos meios porosos (MP) por co-compactação direta compreende as seguintes etapas:

a) preencher a cavidade de uma matriz (M) em formato de disco a qual possui um separador físico (S) de forma a definir uma área de disco central (A1) e uma área de anel externo (A2), com um

primeiro pó (G1) na área definida como disco central (A1) e um segundo pó (G2) na área definida como anel externo (A2);

b) compactar com aplicação de um valor de pressão (P) os pós (G1, G2) em ambas as áreas (A1, A2) simultaneamente;

5 c) sinterizar o meio poroso (MP) formado sob vácuo, em uma temperatura que pode variar na faixa entre 1230°C e 1300°C por um tempo que pode variar entre 30 minutos e 60 minutos.

Adicionalmente, pode ser introduzida à rotina de obtenção, após a etapa de sinterização do meio poroso (MP), uma etapa de calibragem que  
10 compreende uma recompressão, na faixa de 1,0 ton/cm<sup>2</sup> e 2,0 ton/cm<sup>2</sup>.

Os valores de permeabilidade ( $\alpha$ ) dos meios porosos obtidos são definidos e dependentes do valor da pressão de compactação (P) e da composição e granulometria dos pós (G1, G2).

A pressão de compactação (P) varia entre 2,5 ton/cm<sup>2</sup> e 3,0 ton/cm<sup>2</sup>.

15 Os pós (G1 e G2) empregados na obtenção do meio poroso (MP) da presente invenção são compostos por ligas metálicas que compreendem pelo menos um dos seguintes componentes:

- aço;
- ferro;
- 20 - cobre;
- alumínio.

Para a obtenção de meios porosos com diferentes permeabilidades, a distribuição granulométrica dos pós (G1 e G2) apresentam tamanhos de partícula inferiores a 149  $\mu$ m, podendo ser classificados em quatro faixas:  
25 entre 149  $\mu$ m e 105  $\mu$ m, entre 105  $\mu$ m e 62  $\mu$ m, entre 62  $\mu$ m e 44  $\mu$ m e inferior a 44  $\mu$ m.

No meio poroso (MP) obtido, as áreas tanto do disco central quanto do anel externo (A1, A2) tem valores aproximadamente iguais, mas com permeabilidades ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ) de valores diferentes.

30 O meio poroso (MP) recebe uma caracterização física segundo

parâmetros dimensionais e de permeabilidade e uma caracterização microestrutural com detalhamento da interface entre duas regiões de diferentes permeabilidades.

5 O meio poroso (MP) apresenta uma permeabilidade radial diferente da permeabilidade axial.

O meio poroso (MP) obtido pode ter áreas que apresentem permeabilidades diferentes entre si dispostas em uma configuração que pode ser escolhida entre: concêntrica (Figura 2), semicircular (Figura 3) ou setorial (Figura 4).

10 De acordo com o método da presente invenção, foram obtidos meios porosos que apresentam valores de permeabilidade ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ) que variam na faixa entre 1 mD e 750 mD, distribuídos da seguinte forma:

- disco central (DC) na faixa de valores entre 10 mD e 750 mD
- anel externo (AE) na faixa de valores entre 1 mD a 100 mD

15 Da maneira como foi descrito, o método da presente invenção prevê a obtenção de meios porosos anisotrópicos com duas áreas que apresentam permeabilidades ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ) diferentes, o que não impede que o mesmo método seja utilizado para a obtenção de meios porosos anisotrópicos com três ou mais áreas de permeabilidades diferentes. Para  
20 tanto, basta escolher pós com granulometrias variadas (tamanhos de partícula inferiores a 149  $\mu\text{m}$ ) e/ou aplicar pressões diferentes (entre 2,5  $\text{ton/cm}^2$  e 4,0  $\text{ton/cm}^2$ ) para cada área que se deseja obter uma permeabilidade distinta.

### **EXEMPLO**

25 Em um ensaio padrão API, foram utilizados 350 mL de um fluido de perfuração, sob uma pressão constante de 6,80 atm, uma temperatura de 65,56°C por um tempo de 30 minutos. Foi feita uma medição do volume de fluido filtrado. Como o fluido contém sólidos, formou-se uma torta sobre o meio poroso, o que minimiza o volume de filtrado.

30 Na Tabela 1 abaixo encontram-se os resultados do ensaio realizado

com um meio poroso segundo a presente invenção nos valores de 50 mD e 500 mD com aplicação de pressão no valor de 6,80 atm.

| <b><u>TABELA 1</u></b> |                              |
|------------------------|------------------------------|
| <b>Tempos (s)</b>      | <b>V<sub>Exp.</sub> (mL)</b> |
| 1                      | 1                            |
| 2                      | 3                            |
| 3                      | 4                            |
| 4                      | 5                            |
| 5                      | 7                            |
| 10                     | 11                           |
| 15                     | 15                           |
| 20                     | 19                           |
| 25                     | 22                           |
| 30                     | 26                           |
| 40                     | 32                           |
| 50                     | 37                           |
| 60                     | 42                           |
| 70                     | 47                           |
| 80                     | 51                           |
| 90                     | 56                           |
| 100                    | 59                           |
| 110                    | 63                           |
| 120                    | 67                           |
| 130                    | 72                           |
| 140                    | 74                           |
| 150                    | 77                           |
| 160                    | 80                           |
| 170                    | 84                           |
| 180                    | 87                           |
| 190                    | 90                           |
| 200                    | 93                           |
| 210                    | 96                           |
| 220                    | 99                           |
| 230                    | 102                          |
| 240                    | 104                          |
| 250                    | 107                          |
| 260                    | 110                          |
| 270                    | 113                          |
| 280                    | 115                          |
| 290                    | 118                          |

Na Tabela 2 abaixo encontram-se os resultados do ensaio realizado

com um meio poroso segundo a presente invenção nos valores de 50 mD e 500 mD com aplicação de pressão no valor de 13,60 atm.

| <b><u>TABELA 2</u></b> |                              |
|------------------------|------------------------------|
| <b>Tempo (s)</b>       | <b>V<sub>Exp.</sub> (mL)</b> |
| 3                      | 5                            |
| 4                      | 6                            |
| 5                      | 7                            |
| 10                     | 12                           |
| 15                     | 18                           |
| 20                     | 23                           |
| 25                     | 28                           |
| 30                     | 32                           |
| 40                     | 40                           |
| 50                     | 49                           |
| 60                     | 57                           |
| 70                     | 66                           |
| 80                     | 75                           |
| 90                     | 85                           |
| 100                    | 94                           |
| 110                    | 103                          |
| 120                    | 113                          |
| 130                    | 122                          |

Embora a presente invenção tenha sido descrita em sua forma de realização preferida, o conceito principal que norteia a presente invenção que é um método de obtenção de meios porosos para avaliação das propriedades filtrantes de fluidos de perfuração, empregados em ensaios de permeabilidade e dos referidos meios porosos assim obtidos se mantém preservado quanto ao seu caráter inovador, onde aqueles usualmente versados na técnica poderão vislumbrar e praticar variações, modificações, alterações, adaptações e equivalentes, cabíveis e compatíveis ao meio de trabalho em questão, sem, contudo se afastar da abrangência do espírito e escopo da presente invenção, que estão representados pelas reivindicações que se seguem.

## **REIVINDICAÇÕES**

### **1- MÉTODO DE OBTENÇÃO DE MEIO POROSO ANISOTRÓPICO POR CO-COMPACTAÇÃO DIRETA, caracterizado por compreender as seguintes etapas:**

- a) preencher a cavidade de uma matriz (M) em formato de disco a qual possui um separador físico (S) de forma a definir uma área de disco central (A1) e uma área de anel externo (A2), com um primeiro pó (G1) na área definida como disco central (A1) e um segundo pó (G2) na área definida como anel externo (A2);
- b) compactar com aplicação de um valor de pressão (P) os pós (G1, G2) em ambas as áreas (A1, A2) simultaneamente;
- c) sinterizar o meio poroso (MP) formado sob vácuo, em uma temperatura que pode variar na faixa entre 1230°C e 1300 °C por um tempo que pode variar entre 30 minutos e 60 minutos.

**2- MÉTODO**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por compreender adicionalmente uma etapa de calibragem que consiste de uma recompressão, na faixa de 1,0 ton/cm<sup>2</sup> e 2,0 ton/cm<sup>2</sup>, após a etapa de sinterização do meio poroso (MP).

**3- MÉTODO**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por a pressão (P) variar entre 2,5 ton/cm<sup>2</sup> e 3,0 ton/cm<sup>2</sup>.

**4- MÉTODO**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por as áreas (A1, A2) tanto do disco central (DC) quanto do anel externo (AE) terem valores aproximadamente iguais, mas com permeabilidades ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ) de valores diferentes.

**5- MÉTODO**, de acordo com a reivindicação 1, caracterizado por o disco central (DC) e o anel externo (AE) apresentarem valores de permeabilidade distribuídos da seguinte forma:

- disco central (DC) na faixa de valores entre 10 mD e 750 mD;
- anel externo (AE) na faixa de valores entre 1 mD a 100 mD.

**6- MEIO POROSO ANISOTRÓPICO**, conforme obtido na reivindicação 1, para avaliação das propriedades filtrantes de fluidos de perfuração, empregados em ensaios de filtração estática caracterizado por serem compostos por ligas metálicas na forma de pós compactados e sinterizados, e possuir pelo menos duas áreas com permeabilidades diferentes entre si.

**7- MEIO POROSO ANISOTRÓPICO**, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por as ligas metálicas compreenderem pelo menos um dos seguintes componentes:

- aço;
- pó de ferro;
- cobre;
- alumínio.

**8- MEIO POROSO ANISOTRÓPICO**, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por os pós apresentarem tamanhos de partícula inferiores a 149 µm.

**9- MEIO POROSO ANISOTRÓPICO**, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por apresentar uma permeabilidade radial diferente da permeabilidade axial.

**10- MEIO POROSO ANISOTRÓPICO**, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por as áreas que apresentem permeabilidades diferentes entre si estejam dispostos em uma configuração que pode ser escolhida entre: concêntrica, semicircular e setorial.

**11- MEIO POROSO ANISOTRÓPICO**, de acordo com a reivindicação 6, caracterizado por apresentar valores de permeabilidade que variam na faixa entre 1 mD e 750 mD.

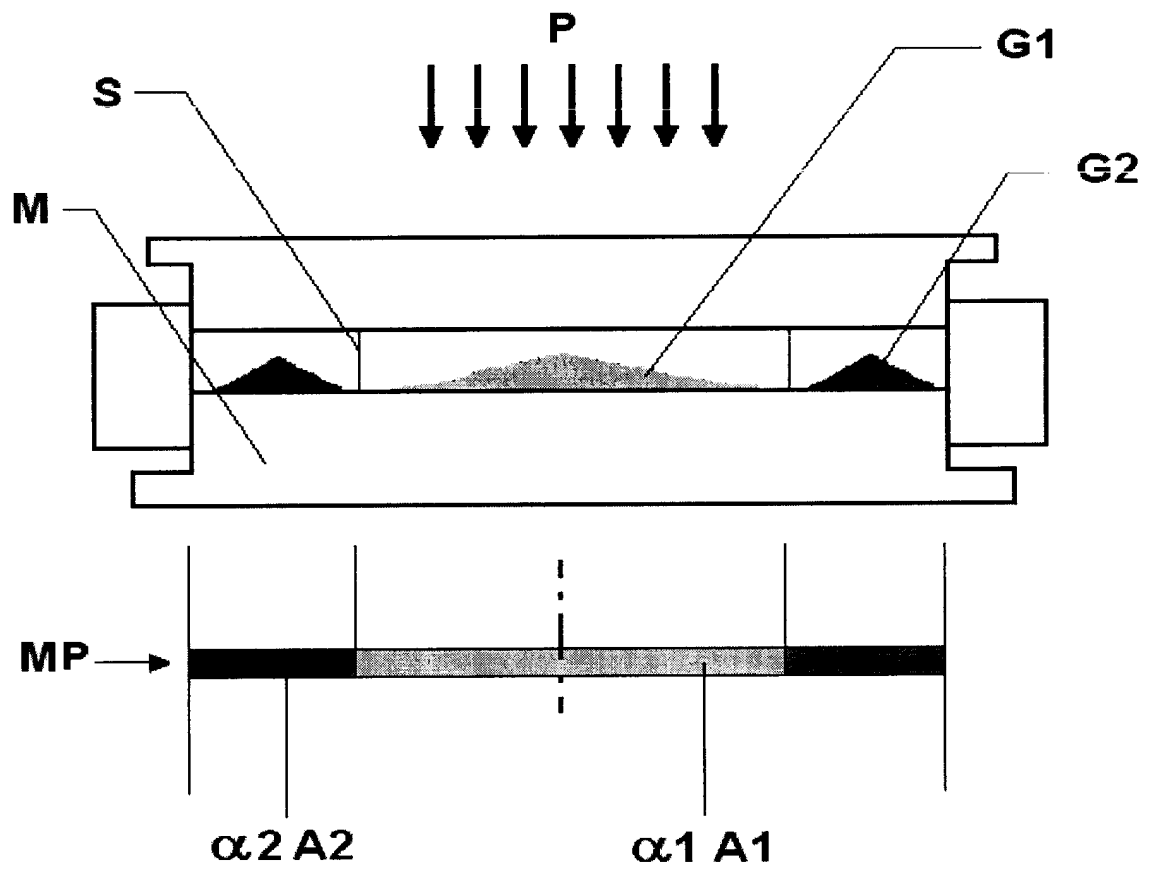


FIG. 1

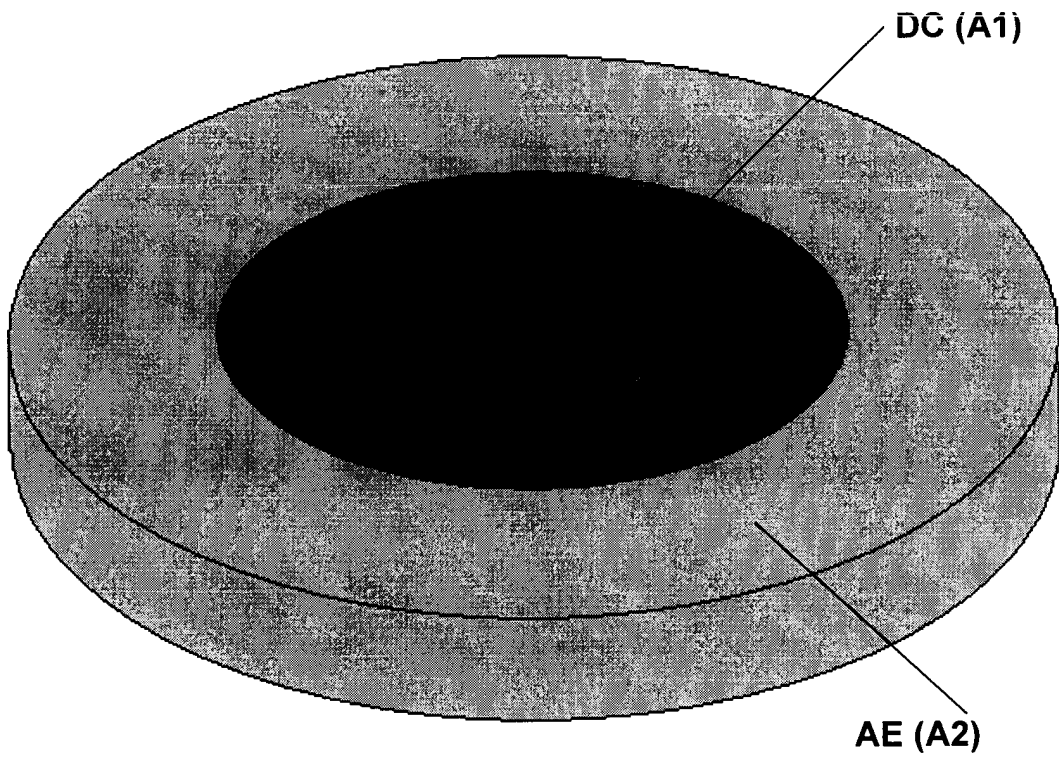
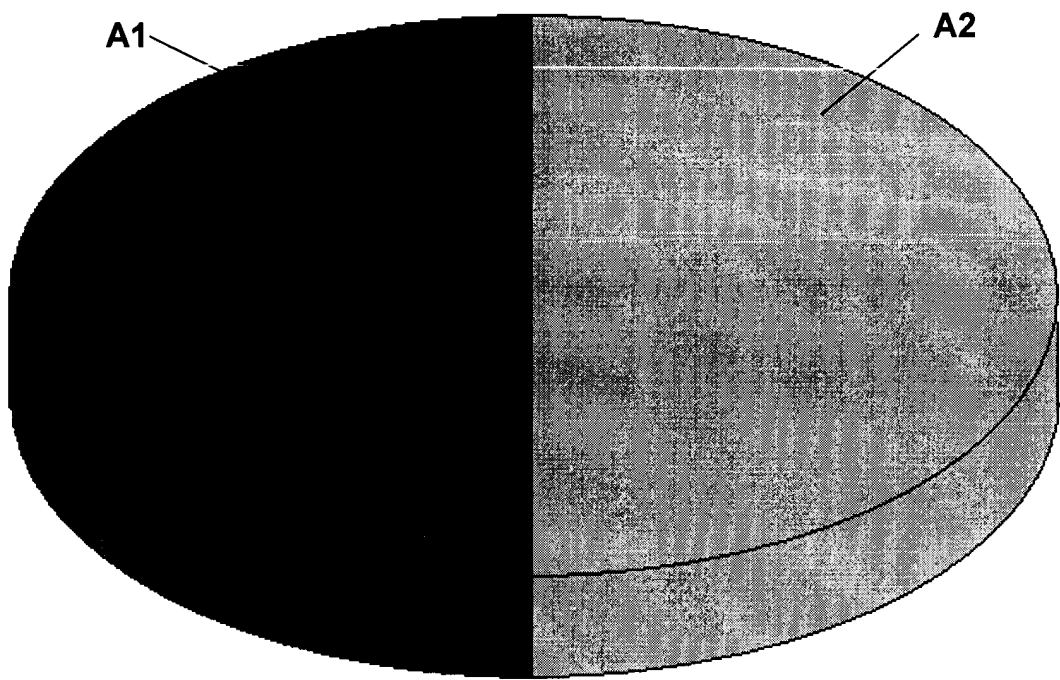


FIG. 2



**FIG. 3**

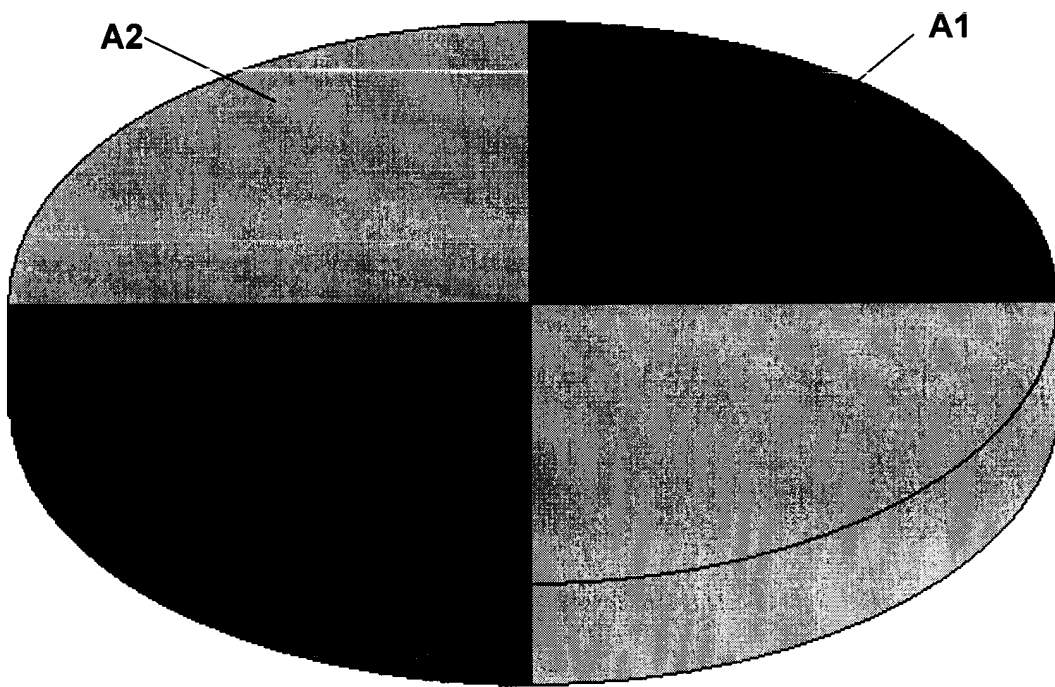


FIG. 4