

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 10.03.16.

30 Priorité : 15.04.15 IB
WOUS2015025866; 15.04.15 IB
WOUS2015025869; 15.04.15 IB
WOUS2015025922; 12.08.15 IB
WOUS2015044908.

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 21.10.16 Bulletin 16/42.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : HALLIBURTON ENERGY SERVICES,
INC. — US.

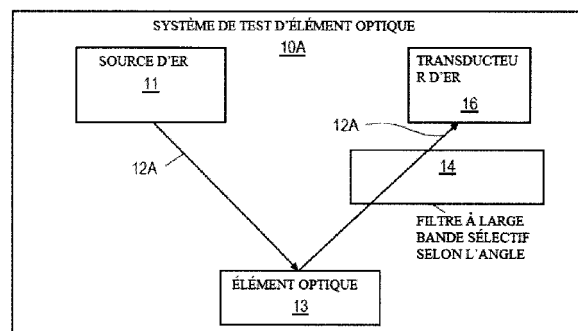
72 Inventeur(s) : PERKINS DAVID L. et PRICE JAMES
M..

73 Titulaire(s) : HALLIBURTON ENERGY SERVICES,
INC..

74 Mandataire(s) : GEVERS & ORES Société anonyme.

54 METHODES ET SYSTEMES DE TEST D'ELEMENTS OPTIQUES EMPLOYANT UN FILTRE A LARGE BANDE
SELECTIF SELON L'ANGLE.

57 L'invention concerne un système d'essai d'éléments
optiques comprenant un filtre à large bande sélectif selon
l'angle disposé le long d'un chemin optique avec un élément
optique à tester. Le système comprend aussi un transduc-
teur de rayonnement électromagnétique, qui émet un signal
en réponse au rayonnement électromagnétique qui traverse
le filtre à large bande sélectif selon l'angle. Le système com-
prend aussi un dispositif d'enregistrement qui enregistre des
données correspondant à la sortie de signaux à partir du
transducteur de rayonnement électromagnétique, les don-
nées indiquant une propriété de l'élément optique en ré-
ponse à un test.



MÉTHODES ET SYSTÈMES DE TEST D'ÉLÉMENTS OPTIQUES EMPLOYANT UN FILTRE À LARGE BANDE SÉLECTIF SELON L'ANGLE

CONTEXTE

5 Il existe divers outils pour analyser des échantillons utilisant un rayonnement électromagnétique. Un exemple d'outil d'analyse d'échantillon, que l'on appelle un photomètre, fournit des informations concernant la manière dont les propriétés du rayonnement électromagnétique sont affectées du fait d'une réflexion, d'une émission ou d'une transmission à travers un échantillon. Un autre exemple d'outil, qu'on appelle
10 ellipsomètre, fournit des informations concernant la manière dont la polarité du rayonnement électromagnétique est affectée du fait d'une réflexion ou d'une traversée d'un échantillon. Un autre exemple d'outil, qu'on appelle spectromètre, fournit des informations concernant la manière dont des longueurs d'onde du rayonnement électromagnétique sont affectées par leur réflexion, émission ou transmission à travers un échantillon. Les efforts antérieurs pour
15 améliorer les performances d'outils d'analyse d'échantillon comprennent un arrangement soigné d'au moins un élément optique le long d'un chemin optique. Les performances d'un élément optique utilisé dans un outil d'analyse dépendent du procédé de fabrication des éléments optiques. Dans un exemple de procédé de fabrication d'élément optique, on dépose au moins une couche sur un substrat en vue d'obtenir un résultat de filtration souhaité (par ex.
20 une filtration d'intensité, une filtration de longueur d'onde de lumière, une filtration de polarisation de lumière). Du fait des variations du procédé de fabrication, il est difficile de produire en masse des éléments optiques avec les mêmes caractéristiques opérationnelles.

Une manière d'améliorer le processus de fabrication d'un élément optique consiste à tester les caractéristiques opérationnelles d'éléments optiques lors du procédé de fabrication.
25 Cet essai n'est pas un procédé négligeable et il est négativement affecté par l'environnement de fabrication. Par exemple, les sources de chaleur et de vibrations présentes dans l'environnement de fabrication peuvent introduire un rayonnement électromagnétique dispersé qui augmente la quantité d'erreur lorsqu'on teste les caractéristiques opérationnelles d'un élément optique.

30 BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

En conséquence, on décrit ici des méthodes et systèmes de test d'éléments optiques employant un filtre à large bande sélectif selon l'angle. Parmi les dessins :

Les figures 1A à 1C montrent des organigrammes de configurations illustratives de systèmes de test d'éléments optiques.

La figure 2 illustre un organigramme d'un outil illustratif d'analyse d'échantillons.

La figure 3A montre un environnement de forage illustratif.

5 La figure 3B montre un environnement de diagraphie par câble illustratif.

La figure 4 enfin illustre un procédé illustratif de test d'élément optique.

Il doit être compris, cependant, que les modes de réalisation spécifiques donnés dans les figures et leur description détaillée ne limitent pas la description. Au contraire, ils constituent la fondation permettant à une personne d'expérience ordinaire de discerner les formes alternatives, les équivalents et les autres modifications qui sont englobés dans la portée des revendications annexées.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

On décrit ici des méthodes et systèmes de test d'éléments optiques employant un filtre à large bande sélectif selon l'angle. Dans différents modes de réalisation, les systèmes et les procédés de test peuvent être employés pendant et/ou après fabrication d'un élément optique. Dans ce contexte, le terme "filtre à large bande sélectif selon l'angle" correspond à un composant optique qui permet au rayonnement électromagnétique de le traverser pour une gamme large de fréquences, mais seulement selon un angle d'incidence particulier ou selon une gamme étroite d'angles d'incidence. Sans limitation, un filtre à large bande sélectif selon l'angle documenté est transparent à 98 % au rayonnement électromagnétique p-polarisé à un angle de $55^\circ \pm 4^\circ$. Cf. Yichen Shen et al., *Optical Broadband Angular Selectivity*, Science 343, 1499 (2014). L'emploi d'un filtre à large bande sélectif selon l'angle dans les systèmes et dans les procédés de test d'élément optique donne des options susceptibles d'améliorer ou de remplacer les conceptions existantes d'essai. Dans différents modes de réalisation, les éléments optiques obtenus par des systèmes et des procédés de test peuvent être employés dans un certain nombre d'outils optiques tels que des outils d'analyse d'échantillon (par ex. des photomètres, des ellipsomètres et des spectromètres).

Dans ce contexte, un "élément optique" correspond à un composant optique qui réfléchit, absorbe ou autrement affecte le rayonnement électromagnétique incident le traversant, émis à partir de celui-ci ou le réfléchit en fonction de la longueur d'onde, de la polarité et/ou de l'angle d'incidence. Les exemples d'éléments optiques comprennent au moins un filtre optique, un élément de polarisation, un élément de sélection de longueur d'onde et un élément de calcul intégré (ICE). Dans certains cas, les éléments optiques soumis aux

méthodes et aux systèmes d'essai correspondant aux composants individuels qui peuvent être déployés le long d'un chemin optique de d'outil d'analyse d'échantillon ou d'un autre outil optique. Dans d'autres cas, les éléments optiques soumis aux méthodes et aux systèmes de test décrits correspondant à des composants de combinaison, un élément optique étant
 5 combiné à un autre composant qui peut être déployé le long d'un chemin optique de l'outil d'analyse d'échantillon ou d'un autre outil optique. Les exemples de composants de combinaison comprennent une source de rayonnement électromagnétique ou un transducteur (un détecteur) de rayonnement électromagnétique comportant au moins une couche d'éléments optiques jusqu'à au moins une de ses surfaces.

10 Dans au moins certains modes de réalisation, un système d'essai d'éléments optiques comprend un filtre à large bande sélectif selon l'angle disposé le long d'un chemin optique avec l'élément optique à tester. Le système comprend aussi un transducteur de rayonnement électromagnétique, qui émet un signal en réponse au rayonnement électromagnétique qui traverse le filtre à large bande sélectif selon l'angle. Le système comprend aussi un dispositif
 15 d'enregistrement qui enregistre des données correspondant à la sortie de signaux à partir du transducteur de rayonnement électromagnétique, les données indiquant une propriété de l'élément optique en réponse à un test. Cependant, un exemple de procédé de test d'élément optique comprend la disposition d'un élément optique à tester et d'un filtre à large bande sélectif selon l'angle disposé le long d'un chemin optique. Le procédé comprend aussi
 20 l'émission d'un signal en réponse au rayonnement électromagnétique qui traverse le filtre à large bande sélectif selon l'angle. Le procédé comprend aussi l'enregistrement des données correspondant au signal, les données indiquant une propriété de l'élément optique en réponse à un test. Diverses options d'essai d'élément optique, options de fabrication d'un élément optique et options d'outil d'analyse d'échantillon susceptibles de bénéficier des éléments
 25 optiques obtenus à l'aide des options de test et de fabrication décrites sont décrites ici.

Les systèmes et les méthodes décrits sont compris au mieux quand on les décrit dans un contexte illustratif d'usage. Les figures 1A à 1C montrent des organigrammes de différentes configurations de systèmes de test d'éléments optiques 10A à 10C. Dans la configuration 10A de la figure 1A, le rayonnement électromagnétique à analyser correspond
 30 au chemin optique 12A, alors qu'un rayonnement électromagnétique émis par la source de rayonnement électromagnétique (ER) 11 se réfléchit sur une surface l'élément optique 13, traverse le filtre à large bande sélectif selon l'angle 14 et aboutit au transducteur d'ER 16. Le signal émis par le transducteur d'ER 16 en réponse à un rayonnement électromagnétique incident est numérisé, enregistré et analysé pour caractériser une propriété de l'élément

optique 13 en réponse à un test (par ex. un test de moniteur optique, un test d'ellipsométrie ou un test de spectrométrie). Par exemple, la configuration de la figure 1A peut servir à identifier les caractéristiques du moniteur optique de l'élément optique 13 (par ex. comment l'intensité du rayonnement électromagnétique émis depuis la source d'ER 11 et correspondant à une

5 longueur d'onde discrète ou à un intervalle est affectée du fait d'une réflexion sur l'élément optique 13), les caractéristiques d'ellipsométrie de l'élément optique 13 (c.-à-d. comment la polarisation du rayonnement électromagnétique émis depuis la source d'ER 11 est affectée du fait d'une réflexion sur l'élément optique 13) ou les caractéristiques de spectrométrie de l'élément optique 13 (c.-à-d. comment les longueurs d'onde particulières du rayonnement

10 électromagnétique émises depuis la source d'ER 11 sont affectées du fait de leur réflexion sur l'élément optique 13).

Dans la configuration 10B de la figure 1B, le rayonnement électromagnétique à analyser correspond au chemin optique 12B, le rayonnement électromagnétique émis depuis la source d'ER 11 traversant l'élément optique 13, traversant le filtre à large bande sélectif

15 selon l'angle 14 et arrivant au transducteur d'ER 16. Le signal émis par le transducteur d'ER 16 en réponse à un rayonnement électromagnétique incident est numérisé, enregistré et analysé pour caractériser une propriété de l'élément optique 13 en réponse à un test (par ex. un test de moniteur optique, un test d'ellipsométrie ou un test de spectrométrie). Par exemple, la configuration de la figure 1B peut servir à identifier les caractéristiques du moniteur

20 optique de l'élément optique 13 (par ex. comment l'intensité du rayonnement électromagnétique émis depuis la source d'ER 11 et correspondant à une longueur d'onde discrète ou à un intervalle est affectée du fait d'une réflexion sur l'élément optique 13), les caractéristiques d'ellipsométrie de l'élément optique 13 (c.-à-d. comment la polarisation du rayonnement électromagnétique émis depuis la source d'ER 11 est affectée du fait d'une

25 réflexion sur l'élément optique 13) ou les caractéristiques de spectrométrie de l'élément optique 13 (c.-à-d. comment les longueurs d'onde particulières du rayonnement électromagnétique émises depuis la source d'ER 11 sont affectées du fait de leur traversée de l'élément optique 13). Dans différents modes de réalisation, les configurations de système d'essai d'élément optique telles que les configurations 10A et 10B peuvent être combinées à

30 une fabrication d'élément optique ou à un équipement de modification pour accélérer l'obtention d'un élément optique à caractéristiques voulues.

Dans la configuration de systèmes de test d'éléments optiques 10C de la figure 1C, une section d'essai 20 et une section de fabrication 30 sont représentées. Note : les composants de la section d'essai 20 peuvent être positionnés sur différents côtés de la section

de fabrication 30 grâce à des orifices ou à des fenêtres appropriés 37A à 37D. De plus ou sinon, les composants de la section d'essai 20 peuvent faire partie de la section de fabrication 20 (par ex. dans la chambre de dépôt 31). De plus, un système informatique 70 est représenté, le système informatique 70 pouvant diriger les opérations et/ou recevoir les mesures depuis les composants de la section d'essai 20 et/ou de la section de fabrication 30. Le système informatique 70 peut aussi afficher des informations relatives à l'écran et/ou des options de commande pour un opérateur. L'interaction du système informatique 70 avec la section d'essai 20 et/ou la section de fabrication 20 peut être automatisée et/ou soumise à une entrée d'utilisateur.

Selon au moins certains modes de réalisation, le système informatique 70 contient une unité de traitement 72 qui affiche des options de test, des options de fabrication et/ou des résultats d'essai par exécution d'un logiciel ou d'instructions obtenues à partir d'un support non-transitoire lisible par un ordinateur local ou distant 78. Le système informatique 70 peut aussi contenir un ou plusieurs dispositif(s) d'entrée 76 (*par ex.*, un clavier, une souris, un pavé tactile, etc.) et un ou plusieurs dispositif(s) de sortie 74 (*par ex.*, un écran, une imprimante, etc.). Ces dispositif(s) d'entrée 76 et/ou dispositif(s) de sortie 74 procurent une interface d'utilisateur qui permet à un opérateur d'interagir avec les composants de la section d'essai 20, avec les composants de la section de fabrication 30 et/ou avec le logiciel exécuté par l'unité de traitement 72. Le système informatique 70 peut par exemple permettre à un opérateur de sélectionner les options d'essai (par ex. un test d'ellipsomètre, un test de spectromètre, un test de moniteur optique ou des paramètres ajustables) pour visualiser les résultats d'essai, pour sélectionner des options de fabrication et/ou pour effectuer d'autres tâches. Comme on l'a déjà indiqué, au moins certaines tâches effectuées par le système informatique 70 (par ex., pour diriger les composants de la section d'essai 20, pour diriger les composants de la section de fabrication 30, pour enregistrer les résultats d'essai, pour afficher les résultats d'essai, etc.) peuvent être automatisées. Dans au moins certains modes de réalisation, les opérations de la section de fabrication 30 sont fondées, au moins en partie, sur des mesures recueillies par la section d'essai 20. Tandis que la discussion pour la configuration 10C se concentre sur le test et sur la fabrication de composants d'ICE 33, on comprendra que d'autres types d'éléments optiques 13 peuvent de même être testés lors de la fabrication ou de la modification.

Conformément à au moins certains modes de réalisation, la section de fabrication 30 contient une chambre de dépôt 31 dotée d'au moins une source de dépôt 38 pour donner des matières à faible indice complexe de réfraction n^*L et indice complexe élevé de réfraction n^*H utilisées pour former les couches d'ICE 33. Les substrats sur lesquels les couches d'ICE

33 doivent être déposées sont placés sur un support de substrat 32. Les substrats ont une épaisseur et un indice de réfraction complexe spécifiés par la conception d'ICE. Dans divers modes de réalisation, on peut employer diverses techniques de dépôt pour former une pile de couches pour chacun des ICE 33 conformes à une conception d'ICE cible. Les exemples de techniques de dépôt comprennent le dépôt physique en phase vapeur (PVD), le dépôt chimique en phase vapeur (CVD), le dépôt en couche atomique (AVD) et l'épitaxie de faisceau moléculaire (MBE). Lors des opérations de PVD, par exemple, les couches des ICE 33 sont formées par condensation d'une forme vaporisée de matière(s) de la ou des source(s) de dépôt 38, alors qu'on maintient un vide de chambre de dépôt. Dans certains modes de réalisation, on effectue un PVD selon d'un dépôt par faisceau électronique (faisceau E), où un faisceau d'électrons de haute énergie est concentré électromagnétiquement sur la ou les matière(s) de la ou des source(s) de dépôt 38 pour vaporiser les espèces atomiques (par ex. Si ou SiO₂). Dans certains cas, le dépôt par faisceau E est assisté par des ions qui nettoient ou qui attaquent le ou les substrat(s) d'ICE et/ou qui augmentent les énergies de la ou des matière(s) vaporisée(s), de sorte qu'elles sont déposées plus densément sur les substrats. Si l'on utilise des ions, une source d'ions peut être ajoutée à la section de fabrication 30.

Une autre technique de PVD qu'on peut utiliser pour former la pile de couches de chacun des ICE 33 est le dépôt par arc cathodique, dans lequel un arc électrique déchargé au niveau de la ou des matière(s) de la ou des source(s) de dépôt 38 souffle une partie de la ou des matière(s) en vapeur ionisée à déposer sur les ICE 33 en cours de formation. Une autre technique de PVD qu'on peut utiliser pour former la pile de couches de chacune des ICE 33 encore est le dépôt par vaporisation, où la ou les matière(s) comprise(s) dans la ou dans les source(s) de dépôt 38 sont chauffées jusqu'à une pression élevée de vapeur par chauffage par résistance électrique. Une autre technique de PVD qu'on peut utiliser pour former la pile de couches de chacune des ICE 33 encore est le dépôt par laser à impulsion, où un laser élimine la ou les matière(s) comprise(s) dans la ou dans les source(s) de dépôt 38 en vapeur. Une autre technique de PVD qu'on peut utiliser pour former la pile de couches de chacune des ICE 33 encore est le dépôt par pulvérisation, où une décharge de plasma rayonnant (habituellement située autour de la ou des source(s) de dépôt 38 par un aimant bombarde la ou les matière(s) de la ou des source(s) 38 en pulvérisant une partie dehors sous forme de vapeur pour dépôt consécutif.

Dans différents modes de réalisation, l'orientation relative de et la séparation entre la ou les source(s) de dépôt 38 et le support de substrat 32 peut varier pour obtenir un taux souhaité de dépôt et une uniformité spatiale à travers les ICE 33 disposés sur le support de

substrat 32. Si la distribution spatiale d'une bonne part de dépôt fourni par la ou par les source(s) de dépôt 38 n'est pas uniforme, l'ensemble formant le support 34 peut périodiquement déplacer le support de substrat 32 par rapport à la ou aux source(s) de dépôt 38 le long d'au moins une direction. L'ensemble de soutien 34 peut par exemple soutenir un mouvement transversal (par ex. vers le haut, vers le bas, vers la gauche, vers la droite le long d'une ligne droite telle que les axes "r" ou "z" représentés) du support de substrat 32 dans une chambre de dépôt et/ou un mouvement de rotation autour d'un axe 36 (par ex. une variation de la direction azimutale " θ ") pour obtenir des dépôts à couches uniformes de manière reproductible pour les ICE 33 dans un lot.

La section d'essai 20 utilisée avec la section de fabrication 100 peut comprendre de multiples composants. Comme représenté dans la figure 1C, la position des composants pour la section d'essai 20 peut varier pour permettre une analyse fondée sur la réflexion ou une analyse de traversée (c.-à-d. de transmission) des couches optiques en cours de fabrication. Même si cela n'apparaît pas spécifiquement, dans au moins certains modes de réalisation, la section d'essai 20 peut comprendre un moniteur d'épaisseur physique tel qu'une microbalance de cristaux de quartz (non représentée) pour mesurer un taux de dépôt. Le taux de dépôt peut servir à diriger les opérations de la ou des source(s) de dépôt 38 (c.-à-d. que le taux de dépôt peut être augmenté ou diminué) et/ou les opérations du support de substrat 32 (par ex. pour déplacer le support de substrat 32 par rapport à la ou aux source(s) de dépôt 38). Dans certains modes de réalisation, le système informatique 70 peut déterminer des indices complexes de réfraction et une épaisseur de couche à l'aide des mesures de la manière dont le rayonnement électromagnétique émis depuis une source EM (par ex. une source 22A ou 22B d'ER) a interagi avec les couches formées d'un ICE 33 de test particulier T (l'ICE 33 étant testé). Le rayonnement électromagnétique émis depuis la source d'ER 22A ou 22B correspond à tout type de rayonnement électromagnétique comportant au moins une longueur d'onde de sonde à partir d'une région appropriée du spectre électromagnétique. La section d'essai 20 comprend aussi au moins un transducteur d'ER (par ex. un transducteur d'ER 26A et 26B) conçu pour recevoir un rayonnement électromagnétique après interaction avec l'ICE 33 T et traversée d'un filtre à large bande sélectif selon l'angle 28A ou 28B. Plus précisément, on dispose un transducteur d'ER 26A pour recevoir un rayonnement électromagnétique émis par une source d'ER 22A et réfléchi depuis l'ICE 33 d'essai T , tandis que le transducteur d'ER 26B est disposé pour recevoir un rayonnement électromagnétique émis par la source d'ER 22B et traversant l'ICE 33 d'essai T .

Dans au moins certains modes de réalisation, la section d'essai 20 effectue un test d'ellipsométrie. Le test d'ellipsométrie peut par exemple impliquer la mesure, par le transducteur d'ER 26A (par ex. pendant ou après formation de la jⁱème couche des ICE 33), de l'amplitude et des composantes de phase (Ψ , Δ) de la lumière de sonde polarisée elliptiquement par la source d'ER 22A après réflexion à partir d'une pile contenant j couches correspondant à l'ICE 33 d'essai τ . La lumière de sonde est fournie par la source d'ER 22A, par exemple, par le biais d'un orifice de sonde ou fenêtre 37A dans la chambre de dépôt 31. Pendant ce temps, le rayonnement électromagnétique réfléchi arrive sur le transducteur d'ER 26A par un autre orifice ou fenêtre 37C de la chambre de dépôt 31. L'amplitude et les composantes de phase (Ψ , Δ) mesurées peuvent être utilisées par le système informatique 70 pour déterminer les composantes réelles et imaginaires des indices complexes de réfraction et les épaisseurs de chacune des couches formées dans la pile. Dans au moins certains modes de réalisation, le système informatique 70 effectue cette détermination par résolution d'équations de Maxwell pour propager/réfléchir une lumière sonde correspondant au test d'ellipsométrie à travers les couches formées de l'ICE 33 d'essai τ .

De plus ou sinon, la section d'essai 20 peut effectuer un test de surveillance optique. Le test de moniteur optique peut par exemple impliquer la mesure (par ex. pendant ou après formation de la jⁱème couche des ICE 33) de la variation d'intensité d'une lumière de sonde fournie par la source d'ER 22B et transmise à travers une pile contenant j couches correspondant à l'ICE 33 d'essai τ . Pour l'essai de moniteur optique, la lumière de sonde compte au moins une longueur d'onde "discrète" $\{\lambda_k \text{ où } k = 1, 2, \dots\}$, où une longueur d'onde discrète λ_k comprend une longueur d'onde centrale λ_k dans une largeur de bande étroite $\Delta\lambda_k$ (par ex. ± 5 nm au plus) et où au moins deux longueurs d'onde λ_1 et λ_2 , contenues dans la lumière de sonde, ont des largeurs de bande respectives $\Delta\lambda_1$ et $\Delta\lambda_2$ qui ne se chevauchent pas. La source d'ER 22B peut par exemple être un laser à onde continue (CW). Comme représenté dans la figure 1C, la source d'ER 22B émet une lumière de sonde à travers un orifice ou une fenêtre 37B dans la chambre de dépôt 31. Pendant ce temps, le transducteur d'ER 26B collecte les mesures correspondantes à travers un autre orifice ou fenêtre 37D. La variation d'intensité mesurée $I(j, \lambda_k)$ peut être utilisée par le système informatique 70 pour déterminer les indices complexes de réfraction et les épaisseurs de chacune des couches formées dans la pile. Dans au moins certains modes de réalisation, le système informatique 70 effectue cette détermination par résolution d'équations de Maxwell pour propager une lumière de sonde correspondant au test de moniteur optique à travers les couches formées de l'ICE 33 d'essai τ .

De plus ou sinon, la section d'essai 20 peut effectuer un test de spectrométrie. L'essai de spectrométrie peut par exemple impliquer la mesure (par ex; pendant ou après formation de la j^{ème} couche des ICE 33) d'un spectre $S(j;\lambda)$ de rayonnement électromagnétique fourni par une source d'ER 22B et traversant une pile de j couches correspondant à l'ICE 33 d'essai

5 T , le rayonnement électromagnétique pouvant avoir un intervalle de longueurs d'onde large et continu allant de λ_{min} à λ_{max} . Note : pour effectuer l'essai de moniteur optique et l'essai de spectrométrie, la source d'ER 22B peut correspondre aux composants de la source de rayonnement électromagnétique à large bande et aux composantes de la source de rayonnement électromagnétique de bande étroite nécessaires pour les deux types de tests.

10 Pour la spectrométrie, la source d'ER 22B émet un rayonnement électromagnétique à large bande à travers un orifice ou une fenêtre 37B dans la chambre de dépôt 31. Pendant ce temps, le transducteur d'ER 26B collecte les mesures correspondantes à travers un autre orifice ou fenêtre 37D. Le spectre $S(j, \lambda)$ mesuré par le transducteur 26B (sur l'intervalle de longueur d'onde de λ_{min} à λ_{max}) peut être utilisé par le système informatique 70 pour déterminer les

15 indices complexes de réfraction et les épaisseurs de chacune des couches formées dans la pile. Dans au moins certains modes de réalisation, le système informatique 70 effectue cette détermination par résolution d'équations de Maxwell pour propager une lumière de sonde correspondant au test de spectrométrie à travers les couches formées de l'ICE 33 d'essai T .

Dans au moins certains modes de réalisation, un ICE 33 d'essai T est au repos par rapport aux composantes de la section d'essai 20 pendant qu'on recueille des mesures d'essai.

20 Dans ce cas, le dépôt d'une couche $L(j)$ est interrompu ou achevé avant d'effectuer la mesure. Pour certaines des couches d'une conception d'ICE, la section d'essai 20 peut mesurer les caractéristiques de la lumière de sonde qui a interagi avec l'ICE 33 d'essai T une fois que la couche $L(j)$ a été déposée à son épaisseur cible complète $t(j)$ ou de manière équivalente,

25 lorsque le dépôt de la couche $L(j)$ est terminé. Sinon, la section d'essai 20 peut mesurer les caractéristiques de la lumière de sonde qui a interagi avec l'ICE 33 d'essai T pendant le dépôt de la couche $L(j)$. Dans différents scénarios, cette mesure peut être prise quand la couche $L(j)$ a été déposée jusqu'à une fraction de son épaisseur cible (par ex. $f = 50 \%$, 80% , 90% , 95% , etc.).

30 Dans d'autres modes de réalisation, l'ICE 33 d'essai T bouge par rapport aux composantes de la section d'essai 20. L'ensemble de soutien 34 peut par exemple amener le support de substrat 32 et les ICE 33 à se déplacer (par ex. vers le haut, vers le bas, vers la gauche, vers la droite, à tourner) pendant la collecte des mesures d'essai. Dans ce cas, le dépôt de la couche $L(j)$ peut, mais pas forcément, être interrompu ou achevé avant d'effectuer les

mesures d'essai. Pour au moins une partie des couches de la conception d'ICE, les mesures d'essai sont collectées en continu pendant toute la durée $\Delta T(j)$ du dépôt de la couche $L(j)$ ou pour des parties du processus de dépôt (par ex. pendant les derniers 50 %, 20 %, 10 % du processus). Les mesures de test peuvent encore correspondre à un test d'ellipsométrie, à test
 5 de moniteur optique ou à un test de spectrométrie tel que décrit ici. Si on le souhaite, les mesures recueillies peuvent être moyennées sur une certaine période de temps ou sur des intervalles de mouvement (par ex. 5 intervalles). Selon un autre exemple, de multiples ICE 33 (pas seulement l'ICE 33 d'essai T) peuvent ensuite être testés alors que l'ensemble de support déplace chaque ICE 33 par rapport aux composantes de la section d'essai 20. Les mesures
 10 d'essai obtenues pour différents ICE 33 peuvent être moyennées.

Une complication avec l'obtention de mesures d'essais des spectres de transmission du proche infra-rouge (NIR) ou de l'infra-rouge médian (MIR) est que le rayonnement électromagnétique dispersé émanant de toute surface tiède (par ex. un corps noir) à l'intérieur de la chambre de dépôt 31 peut arriver aux transducteurs d'ER 26A et 26B et interférer avec
 15 les mesures d'essai. Une autre complication peut se produire quand le rayonnement électromagnétique dispersé issu d'une des sources d'ER 22A ou 22B (c.-à-d. le rayonnement électromagnétique qui n'a pas interagi avec l'ICE 33 T) arrive sur le transducteur d'ER 26A ou 26B. Le rayonnement électromagnétique dispersé peut être dû aux composants de la chambre de dépôt 31 et/ou aux vibrations de la chambre de dépôt 31. Pour éviter de telles interférences
 20 avec les mesures d'essai, les filtres à large bande sélectifs selon l'angle 28A et 28B sont positionnés devant leur transducteur d'ER respectif 26A et 26B. Ainsi, un rayonnement électromagnétique parasite d'angle indésirable est bloqué par les filtres à large bande sélectifs selon l'angle 28A et 28B, ce qui améliore les mesures d'essai obtenues.

Les ICE 33 et/ou les autres éléments optiques 13 qui ont été fabriqués et/ou modifiés
 25 en fonctions de résultats de test comme décrit ici peuvent être employés dans différents outils tels que l'outil d'analyse d'échantillon. La figure 2 illustre un outil d'analyse d'échantillons 40. L'outil d'analyse d'échantillons 40 comprend une source d'ER 41, une chambre d'échantillon 42, au moins un élément optique 13 et au moins un transducteur d'ER 46 disposé le long d'un chemin optique 50. La disposition et l'orientation des composants déployés le long du chemin
 30 optique 50 peuvent varier. De plus, le chemin optique 10 ne correspond pas nécessairement à un chemin rectiligne (par ex. il peut y avoir des coins, des courbes ou d'autres variations de direction le long du chemin optique 50). L'outil d'analyse d'échantillon 40 peut en outre comprendre des composants de masquage spatial, une optique d'imagerie et/ou des lentilles le

long du chemin optique 50. Sinon, on peut omettre ces composants en fonction de la disposition des transducteur(s) d'ER 46.

Dans certains modes de réalisation, la source d'ER 41 peut être omise si le rayonnement électromagnétique extérieur à l'outil d'analyse d'échantillon 40 est disponible.

5 Dans d'autres modes de réalisation, un échantillon 43 présent dans la chambre 42 est à même d'émettre un rayonnement électromagnétique (par ex. par une fenêtre transparente de la chambre d'échantillon 42) et peut servir de source d'ER 41. Dans différents modes de réalisation, le ou les élément(s) optique(s) 13 permettent à l'outil d'analyse d'échantillon 40 d'obtenir des mesures de photométrie, des mesures d'ellipsométrie ou des mesures de spectrométrie qu'on peut utiliser pour caractériser ou pour identifier l'échantillon 43.

Dans au moins certains modes de réalisation, l'outil d'analyse d'échantillon 40 comprend aussi au moins un numériseur 47 pour convertir des signaux analogiques issus de chaque détecteur 46 d'ER en un signal numérique correspondant. De plus, l'outil d'analyse d'échantillon 40 peut comprendre un dispositif d'enregistrement de données 48 qui enregistre
15 des données correspondant à la sortie de chaque transducteur d'ER 46. Par ailleurs, l'outil d'analyse d'échantillon 40 peut comprendre une interface de télécommunication 49 pour transférer les données correspondant à la sortie de chaque transducteur d'ER 46 vers un autre dispositif. De plus ou sinon, l'outil d'analyse d'échantillon 40 peut comprendre une unité de traitement (non représentée) servant à traiter des données et/ou une unité d'affichage (non représentée) pour afficher des données correspondant à la sortie de chaque transducteur d'ER
20 46. Par exemple, les données correspondant à la sortie de chaque transducteur d'ER 46 peuvent être analysées pour identifier une propriété de l'échantillon 43. La propriété identifiée peut par exemple correspondre à une densité (ou à un autre paramètre physique) et/ou à un composant chimique. La propriété identifiée peut être affichée par une unité d'affichage et/ou
25 peut être transmise à l'aide de l'interface de télécommunication 49 vers un autre appareil. La configuration de l'outil d'analyse d'échantillon 40 peut varier en fonction de l'environnement dans lequel l'outil d'analyse d'échantillon 40 est utilisé. Une conception de fond de puits pour l'outil d'analyse d'échantillon 40 peut par exemple différer d'une configuration de laboratoire pour l'outil d'analyse d'échantillon 40 du fait de contraintes spatiales, de contraintes d'échantillonnage, de contraintes de puissance, de paramètres environnants (température, pression, etc.) ou d'autres facteurs.

On appréciera en outre que l'outil d'analyse d'échantillon 40 puisse contenir des composants d'obtention d'un échantillon. Pour échantillonner du fluide dans un environnement de fond de puits par exemple, l'outil d'analyse d'échantillon 40 peut contenir

une interface d'échantillonnage qui s'étend jusqu'à une paroi de trou de forage et qui aspire du fluide d'une formation. De plus, l'interface d'échantillonnage peut diriger le fluide de la formation vers la chambre d'échantillon 42. Si on le souhaite, les échantillons obtenus peuvent être stockés pour une analyse ultérieure une fois qu'un outil d'analyse d'échantillon 40 est récupéré (par ex. à partir d'un environnement de fond de trou) ou les échantillons peuvent être rincés pour une analyse d'un échantillon suivant tandis que l'outil d'analyse d'échantillon 40 reste dans un environnement de fond de trou. On appréciera en outre que l'outil d'analyse d'échantillon 40 puisse contenir des composants de régulation de la pression ou de la température d'un échantillon pendant l'analyse.

La figure 3A montre un environnement de forage illustratif 51A. À la figure 3A, un ensemble de forage 54 permet l'abaissement et le levage d'un train de tiges 60 dans un trou de forage 55 qui pénètre des formations 59 de la terre 58. Le train de tiges 60 est par exemple formé d'un ensemble modulaire de segments 62 et d'adaptateurs 63 de train de tiges. À l'extrémité inférieure du train de tiges 60, un ensemble de fond de trou 61 doté d'un trépan 69 enlève de la matière des formations 59 selon des techniques connues de forage. L'ensemble de fond de trou 61 comprend aussi au moins un collier de forage 67 et un outil de fond 66 doté d'au moins une unité d'analyse d'échantillon 68A à 68N, dont chacune peut correspondre à une certaine variation de l'outil d'analyse d'échantillon 40 décrit pour la figure 2. Pour collecter des échantillons de fluide dans l'environnement de forage 51A, une interface d'échantillonnage (non représentée) est prévue avec l'outil de fond 66. Par exemple, l'interface d'échantillonnage peut être dotée d'un collier de forage 67 proche du trépan 69. Au besoin, les opérations de forage peuvent être arrêtées pour permettre l'obtention d'échantillons de fluides selon des techniques connues d'échantillonnage.

En plus des unités d'analyse d'échantillon 68A à 68N, l'outil de fond de trou 66 peut aussi comprendre de l'électronique pour l'enregistrement de données, les télécommunications, etc. Dans différents modes de réalisation, les mesures d'analyse d'échantillon obtenues par l'au moins une unité d'analyse d'échantillon 68A à 68N sont transférées à la surface de la terre selon des techniques connues de télémétrie (par ex. la télémétrie de tuyau câblé, la télémétrie par impulsions dans la boue, la télémétrie acoustique, électromagnétique) et/ou elles sont enregistrées par l'outil de fond 66. Dans au moins certains modes de réalisation, un câble 57A peut s'étendre du BHA 61 jusqu'à la surface de la terre. Le câble 57A peut par exemple prendre différentes formes, telles que des conducteurs électriques intégrés et/ou des guides d'onde optique (*par ex.*, des fibres) pour permettre le transfert d'électricité et/ou de communications entre l'ensemble de fond 61 et la surface terrestre. Autrement dit, le câble

57A peut être intégré aux composants modulaires du train de forage 60, attaché à ceux-ci ou situé à l'intérieur de ceux-ci.

À la figure 3A, une interface 56 située à la surface de la terre reçoit des mesures d'analyse d'échantillon (ou d'autres données recueillies en fond de trou) par le câble 57A ou par un autre canal de télémétrie et transfère les mesures d'analyse d'échantillon à un système informatique 50. Dans certains modes de réalisation, l'interface de surface 26 et/ou le système informatique 50 peut effectuer diverses opérations telles que la conversion de signaux d'un format à un autre, l'enregistrement de mesures d'analyse d'échantillon et/ou le traitement de mesures d'analyse d'échantillon pour récupérer des informations sur les propriétés d'un échantillon. Selon un exemple, dans au moins certains modes de réalisation, le système informatique 50 contient une unité de traitement 52 qui affiche des mesures d'analyse d'échantillons ou des propriétés liées d'échantillon par exécution d'un logiciel ou d'instructions obtenues à partir d'un support non-transitoire lisible par un ordinateur local ou distant 58. Le système informatique 50 peut aussi contenir un ou plusieurs dispositif(s) d'entrée 56 (*par ex.*, un clavier, une souris, un pavé tactile, etc.) et un ou plusieurs dispositif(s) de sortie 54 (*par ex.*, un écran, une imprimante, etc.). Ces dispositif(s) d'entrée 56 et/ou dispositif(s) de sortie 54 procurent une interface d'utilisateur qui permet à un opérateur d'interagir avec l'outil de fond 66 et/ou avec le logiciel exécuté par l'unité de traitement 52. Par exemple, le système informatique 70 peut permettre à un opérateur de sélectionner des options d'échantillonnage, de sélectionner des options d'analyse d'échantillons, de visualiser des mesures d'analyse d'échantillons recueillies, de visualiser des propriétés d'échantillon obtenues par les mesures d'analyse d'échantillon et/ou d'effectuer d'autres tâches. De plus, les informations sur la position de fond à laquelle un échantillon particulier est recueilli peuvent être prises en compte et utilisées pour faciliter les décisions de complétion de puits et/ou d'autres décisions stratégiques liées à la production d'hydrocarbures.

À différents moments lors du processus de forage, le train de tiges 61 apparaissant à la figure 3A peut être enlevé du trou de forage 55. Quand on enlève le train de tiges 60, une autre option pour effectuer les opérations d'analyse d'échantillons implique l'environnement de câble de forage 51B de la figure 3B. À la figure 3B, un train d'outils de câble de forage 90 est mis en suspension dans un trou de forage 55 qui pénètre dans des formations 59 de la terre 58. Le train d'outils de câble de forage 90 peut par exemple être suspendu par un câble 86 comprenant des conducteurs électriques et/ou des fibres optiques pour la transmission de puissance au train d'outils de câble de forage 90. Le câble 86 peut aussi servir d'interface de communication pour les télécommunications de haut et/ou de bas de trou. Dans au moins

certaines modes de réalisation, le câble 86 s'enroule et se déroule au besoin autour de la bobine pour câble 84 en abaissant ou en élevant le train d'outils de câble de forage 90. Comme on le voit, la bobine de câble 84 peut faire partie d'une installation de diagraphie mobile ou d'un véhicule 80 contenant un guide-câble 82.

5 Dans au moins certains modes de réalisation, le train d'outils de câble de forage 90 contient un ou plusieurs outil(s) de diagraphie 94 et un outil de fond 92 doté d'au moins une unité d'analyse d'échantillon 68A à 68N, dont chacune peut correspondre à une certaine variation de l'outil d'analyse d'échantillon 40 décrit pour la figure 2. L'outil de fond de trou 62 peut aussi comprendre de l'électronique pour l'enregistrement de données, les
10 télécommunications, etc. Les mesures d'analyse d'échantillon obtenues par l'au moins une unité d'analyse d'échantillon 38A à 38N sont transférées à la surface de la terre et/ou elles sont enregistrées par l'outil de fond 62. Dans l'un ou l'autre cas, on peut utiliser les mesures d'analyse d'échantillon pour déterminer au moins une propriété d'un échantillon recueilli dans l'environnement de fond de trou. Les mesures d'analyse d'échantillon peuvent par exemple
15 servir à déterminer une densité d'échantillon, à identifier la présence ou l'absence d'un produit chimique et/ou à déterminer une autre propriété d'un échantillon. De plus, des informations sur la position de fond à laquelle un échantillon particulier a été recueilli peuvent être prises en compte et utilisées pour faciliter les décisions de complétion de puits et/ou d'autres décisions stratégiques liées à la production d'hydrocarbures.

20 À la surface de la terre, une interface de surface 56 reçoit les mesures d'analyse d'échantillon par le câble 86 et transmet les mesures d'analyse d'échantillon à un système informatique 70. Comme on l'a déjà indiqué, l'interface 56 et/ou le système informatique 70 (par ex. une partie de l'installation de diagraphie mobile ou le véhicule 80) peuvent effectuer diverses opérations telles que la conversion de signaux d'un format à un autre,
25 l'enregistrement de mesures d'analyse d'échantillon, le traitement des mesures d'analyse d'échantillon, l'affichage des mesures d'analyse d'échantillon ou les propriétés d'échantillon correspondantes, etc.

La figure 4 illustre un procédé illustratif de test d'élément optique 100. Comme on le voit, le procédé 100 comprend la disposition d'un élément optique à tester et d'un filtre à large
30 bande sélectif selon l'angle le long d'un chemin optique (bloc 102). Au bloc 104, un signal est émis en réponse au rayonnement électromagnétique qui traverse le filtre à large bande sélectif selon l'angle. Le rayonnement électromagnétique peut correspondre à un test d'ellipsométrie, à test de moniteur optique ou à un test de spectrométrie tel que décrit ici. Au bloc 106, les données correspondant au signal sont enregistrées, les données indiquant une propriété de

l'élément optique en réponse à un test. Dans au moins certains modes de réalisation, le procédé de test d'élément optique 100 peut être effectué pendant la fabrication d'un élément optique pour guider les processus de fabrication tels que le PVD. Le processus procédé d'essai d'élément optique 100 peut être effectué après que la fabrication est achevée pour
 5 tester la fonctionnalité d'un élément optique fabriqué. Dans chaque cas, la modification d'un élément optique ou d'un lot d'éléments optiques peut être fondée sur les résultats d'essai. Après fabrication ou modification, les éléments optiques qui ont subi le processus de test décrit ici peuvent être employés avec des outils optiques tels que des outils d'analyse d'échantillon décrits ici.

10 Les modes de réalisation décrits ici comprennent :

A : Un système d'essai d'éléments optiques comprend un filtre à large bande sélectif selon l'angle disposé le long d'un chemin optique avec un élément optique à tester. Le système comprend aussi un transducteur d'ER, qui émet un signal en réponse au rayonnement électromagnétique qui traverse le filtre à large bande sélectif selon l'angle. Le système
 15 comprend aussi un dispositif d'enregistrement qui enregistre des données correspondant à la sortie de signaux à partir du transducteur d'ER, les données indiquant une propriété de l'élément optique en réponse à un test.

B : Un procédé de test d'élément optique comprend la disposition d'un élément optique à tester et d'un filtre à large bande sélectif selon l'angle disposé le long d'un chemin
 20 optique. Le procédé comprend aussi l'émission d'un signal en réponse au rayonnement électromagnétique qui traverse le filtre à large bande sélectif selon l'angle. Le procédé comprend aussi l'enregistrement des données correspondant au signal, les données indiquant une propriété de l'élément optique en réponse à un test.

Chacun des modes de réalisation A et B peuvent comporter au moins un des éléments
 25 supplémentaires suivants, selon une combinaison quelconque. Élément 1 : comprenant également un boîtier et une source d'EM dans le boîtier. Élément 2 : comprend aussi une source de dépôt et un contrôleur, le contrôleur dirigeant la source de dépôt pour ajuster une couche de l'élément optique ou pour ajouter une couche à l'élément optique en fonction des données. Élément 3 : comprenant en outre une chambre de dépôt et un ensemble de soutien
 30 dans la chambre de dépôt, le contrôleur dirigeant l'ensemble de soutien pour déplacer l'élément optique transversalement dans la chambre de dépôt en fonction des données. Élément 4 : comprenant en outre une chambre de dépôt et un ensemble de soutien dans la chambre de dépôt, le contrôleur dirigeant l'ensemble de soutien pour faire tourner l'élément optique dans la chambre de dépôt en fonction des données. Élément 5 : le contrôleur dirigeant

la source de dépôt pour ajuster un taux de dépôt en fonction des données. Élément 6 : le filtre à large bande sélectif selon l'angle et le transducteur d'ER sont disposés pour empêcher le rayonnement électromagnétique diffusé ou le rayonnement électromagnétique non spéculaire de parvenir jusqu'au transducteur d'ER. Élément 7 : les données sont indicatives d'un test de moniteur optique. Élément 8 : les données sont indicatives d'un test d'ellipsométrie. Élément 9 : les données sont indicatives d'un test de spectrométrie. Élément 10 : l'élément optique est un ICE.

Élément 11 : comprend aussi l'ajustement d'une couche de l'élément optique ou l'ajout d'au moins une couche à l'élément optique en fonction des données. Élément 12 : comprenant en outre le déplacement de l'élément optique dans une chambre de dépôt en fonction des données. Élément 13 : comprenant en outre l'ajustement d'un taux de dépôt en fonction des données. Élément 14 : comprenant en outre l'utilisation des données pour produire un lot d'éléments optiques. Élément 15 : les données sont indicatives d'un test de moniteur optique. Élément 16 : les données sont indicatives d'un test d'ellipsométrie. Élément 17 : les données sont indicatives d'un test de spectrométrie. Élément 18 : l'élément optique est un ICE.

De nombreuses autres modifications et variations apparaîtront aux spécialistes du domaine une fois que la description ci-dessus aura été totalement comprise. Il est entendu que les revendications suivantes soient interprétées pour englober toutes les modifications et variations de ce type, le cas échéant.

REVENDICATIONS

REVENDICATIONS :

1. Système de test d'éléments optiques, comprenant :

5 un filtre à large bande sélectif selon l'angle disposé le long d'un chemin optique avec un élément optique à tester ;

un transducteur de rayonnement électromagnétique qui émet un signal en réponse au rayonnement électromagnétique qui traverse le filtre à large bande sélectif selon l'angle ; et

10 un dispositif d'enregistrement qui enregistre des données correspondant à la sortie de signaux à partir du transducteur de rayonnement électromagnétique, les données indiquant une propriété de l'élément optique en réponse à un test.

2. Système selon la revendication 1, comprenant également un boîtier et une source de rayonnement électromagnétique dans le boîtier.

3. Système selon la revendication 1, comprenant aussi une source de dépôt et un contrôleur, 15 le contrôleur dirigeant la source de dépôt pour ajuster une couche de l'élément optique ou pour ajouter une couche à l'élément optique en fonction des données.

4. Système selon la revendication 3, comprenant en outre une chambre de dépôt et un ensemble de soutien dans la chambre de dépôt, le contrôleur dirigeant l'ensemble de soutien pour déplacer l'élément optique transversalement dans la chambre de dépôt en fonction des 20 données.

5. Système selon la revendication 3, comprenant en outre une chambre de dépôt et un ensemble de soutien dans la chambre de dépôt, le contrôleur dirigeant l'ensemble de soutien pour faire tourner l'élément optique dans la chambre de dépôt en fonction des données.

6. Système selon la revendication 3, le contrôleur dirigeant la source de dépôt pour ajuster un 25 taux de dépôt en fonction des données.

7. Système selon la revendication 1, le filtre à large bande sélectif selon l'angle et le transducteur de rayonnement électromagnétique étant disposés pour empêcher le rayonnement électromagnétique diffusé ou le rayonnement électromagnétique non spéculaire de parvenir jusqu'au transducteur de rayonnement électromagnétique.

30 8. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel les données sont indicatives d'un test de moniteur optique.

9. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel les données sont indicatives d'un test d'ellipsométrie.

10. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel les données sont indicatives d'un test de spectrométrie.
11. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, dans lequel l'élément optique est un élément intégré de calcul (ICE).
- 5 12. Procédé de test d'éléments optiques, comprenant :
- la disposition d'un élément optique à tester et d'un filtre à large bande sélectif selon l'angle disposé le long d'un chemin optique ;
- l'émission d'un signal en réponse au rayonnement électromagnétique qui traverse le filtre à large bande sélectif selon l'angle ; et
- 10 l'enregistrement des données correspondant au signal, les données indiquant une propriété de l'élément optique en réponse à un test.
13. Procédé selon la revendication 12, comprenant aussi l'ajustement d'une couche de l'élément optique ou l'ajout d'au moins une couche à l'élément optique en fonction des données.
- 15 14. Procédé selon la revendication 12, comprenant en outre le déplacement de l'élément optique dans une chambre de dépôt en fonction des données.
15. Procédé selon la revendication 12, comprenant en outre l'ajustement d'un taux de dépôt en fonction des données.
16. Procédé selon la revendication 12, comprenant en outre l'utilisation des données pour
- 20 produire un lot d'éléments optiques.
17. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 16, dans lequel les données sont indicatives d'un test de moniteur optique.
18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 16, dans lequel les données sont indicatives d'un test d'ellipsométrie.
- 25 19. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 16, dans lequel les données sont indicatives d'un test de spectrométrie.
20. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 16, dans lequel l'élément optique est un élément intégré de calcul (ICE).

1/4

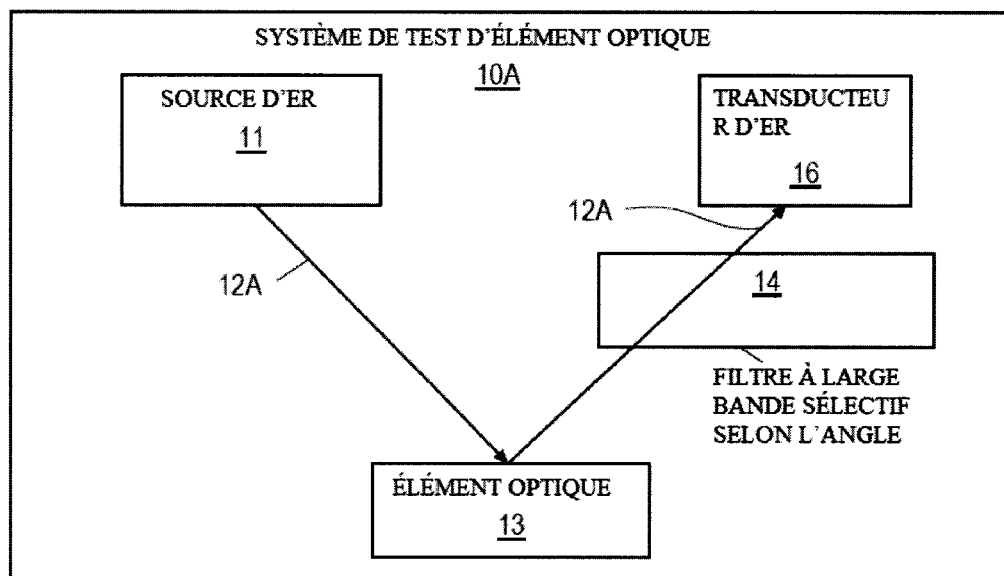


FIG. 1A

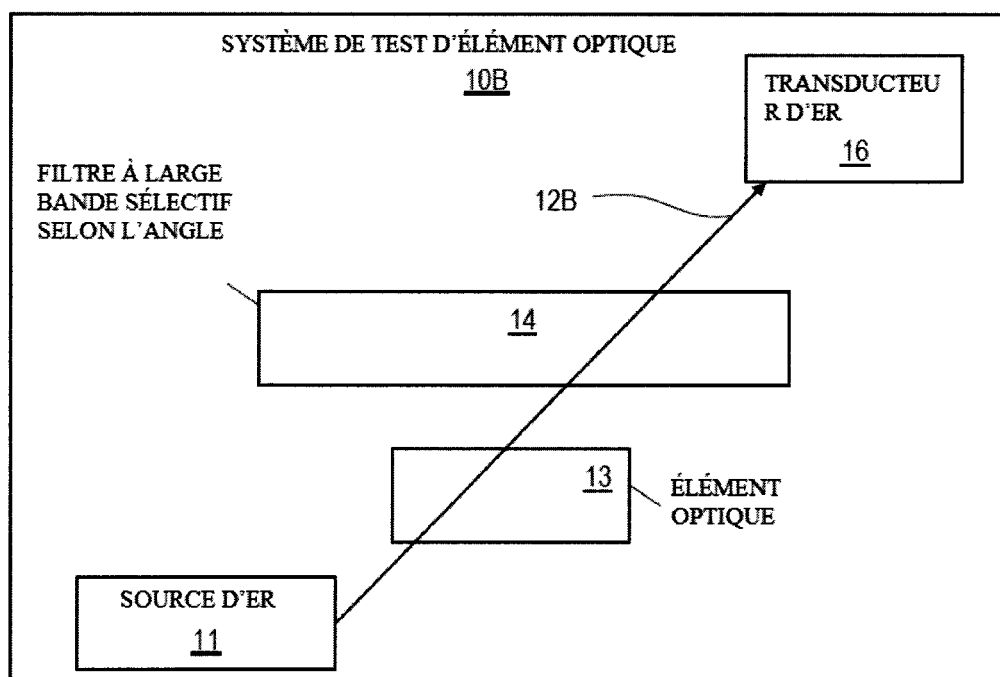
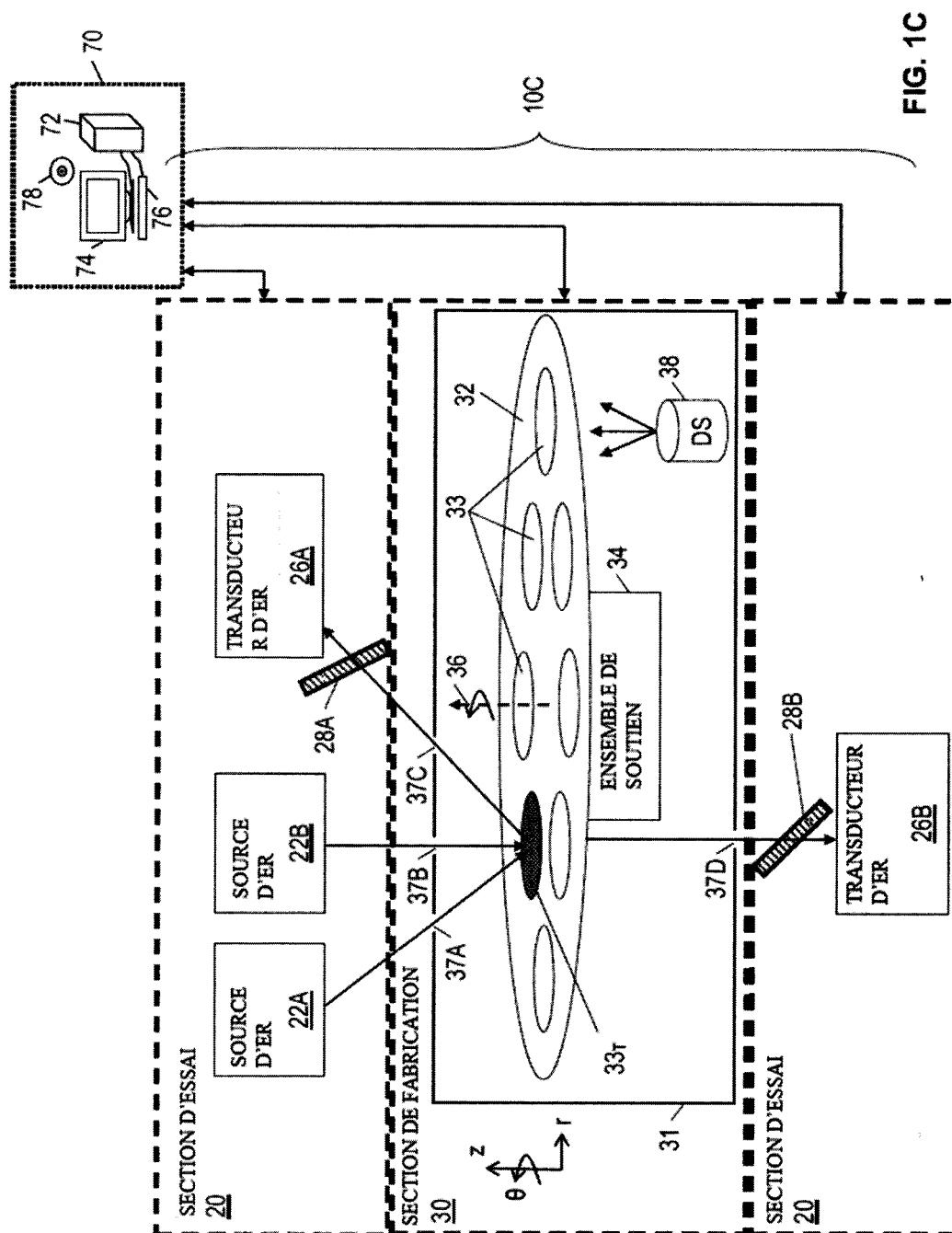


FIG. 1B

2/4



3/4

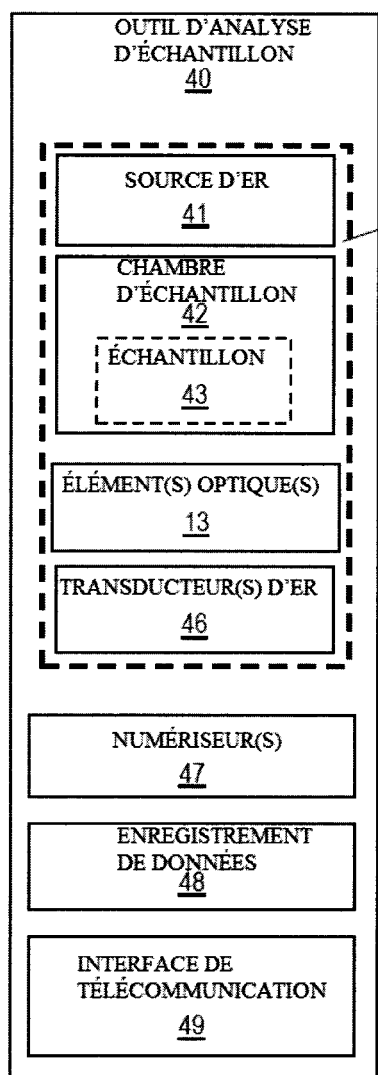


FIG. 2

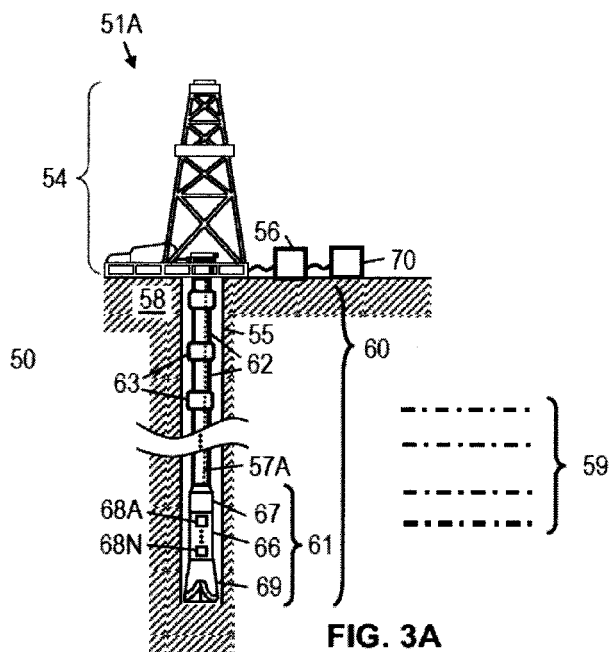


FIG. 3A

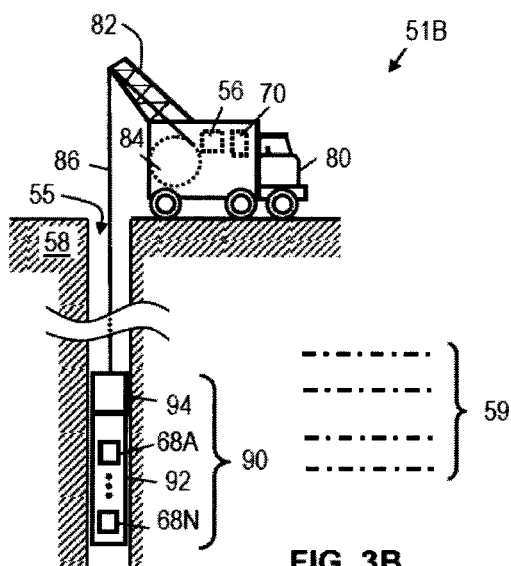


FIG. 3B

4/4

