

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

(11) Nº de publication :
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

3 035 506

(21) Nº d'enregistrement national :
16 52475

(51) Int Cl⁸ : G 01 N 21/17 (2016.01), E 21 B 49/00

(12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 23.03.16.

(30) Priorité : 23.04.15 IB WOUS2015027320.

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

(43) Date de mise à la disposition du public de la
demande : 28.10.16 Bulletin 16/43.

(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 :

(72) Inventeur(s) : MAGUIRE-BOYLE SAMUEL JAMES et
B. NAYAK ADITYA.

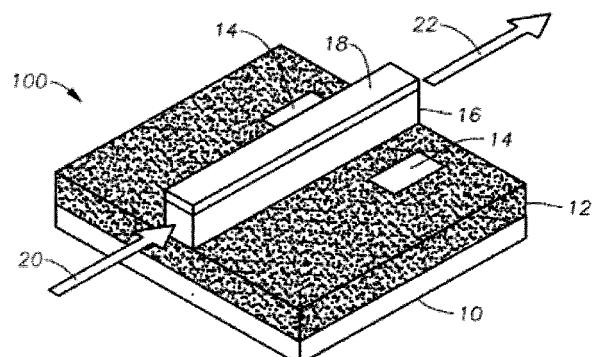
Demande(s) d'extension :

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

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

(54) CALCUL OPTIQUE BASE SUR DES MEMRISTORS PROGRAMMABLES SPECTRALEMENT.

(57) Un élément memristor est utilisé pour créer un dispositif de calcul optique programmable spectralement pour l'utilisation, par exemple, dans un environnement de fond de puits. Un champ électromagnétique est appliqué à travers l'élément memristor de manière à modifier ses propriétés spectrales. À leur tour, les propriétés spectrales de la lumière ayant interagi avec l'échantillon interagissant optiquement avec l'élément memristor sont également modifiées. Cette modification de propriétés spectrales permet de « programmer » le memristor pour obtenir une pluralité de fonctions de transmission/réflexion/absorption.



CALCUL OPTIQUE BASE SUR DES MEMRISTORS PROGRAMMABLES
SPECTRALEMENT

Domaine de l'invention

5 Des modes de réalisation de la présente invention concernent en général des capteurs optiques et, plus particulièrement, un dispositif de calcul optique qui utilise des memristors programmables spectralement.

10 Arrière-plan

Au cours des dernières années, des techniques de calcul optique ont été développées pour des applications dans l'industrie du pétrole et du gaz sous la forme de capteurs optiques dans des équipements de fond de puits ou de surface pour évaluer une pluralité de propriétés des fluides. En général, un dispositif de calcul optique est un dispositif configuré pour recevoir une entrée de rayonnement électromagnétique à partir d'un échantillon et produire une sortie de rayonnement électromagnétique à 15 partir d'un élément de traitement, également dénommé élément optique, dans lequel la sortie reflète l'intensité mesurée du rayonnement électromagnétique. L'élément optique peut être, par exemple, un élément de calcul intégré, ou ICE. Un type d'ICE est un dispositif 20 d'interférence optique à couche mince optique, également connu comme un élément optique à variables multiples 25 (« MOE »).

Fondamentalement, des dispositifs de calcul optiques utilisent les éléments optiques pour effectuer des 30 calculs, par opposition aux circuits câblés de processeurs électroniques conventionnels. Quand une lumière provenant d'une source de lumière interagit avec

une substance, des informations physiques et chimiques uniques concernant la substance sont codées dans le rayonnement électromagnétique qui est réfléchi à partir, transmis à travers ou rayonné à partir de l'échantillon.

5 Ainsi, le dispositif de calcul optique, grâce à l'utilisation de l'ICE et d'un ou de plusieurs détecteurs, est capable d'extraire les informations d'un ou de multiples analytes/caractéristiques dans une substance et de convertir ces informations en un signal 10 de sortie détectable reflétant les propriétés globales d'un échantillon. De telles caractéristiques peuvent comprendre, par exemple, la présence de certains éléments, compositions, phases fluides, etc. existant dans la substance.

15 Historiquement, les MOE à couches minces ont été conçus et fabriqués en utilisant des couches alternées de matériaux à indice élevé et à faible indice, déposées sur un substrat. Une fois que les matériaux ont été déposés sur le substrat, toutefois, les fonctions de 20 transmission/réflexion/absorption du MOE sont fixées en raison de la nature fondamentale du processus de conception et de fabrication. Par conséquent, une fois que la pile de films a été déposée, ses propriétés spectrales ne peuvent pas être modifiées.

25

Brève description des dessins

La Figure 1 illustre un élément memristor qui peut être utilisé dans un dispositif à couches minces optiques programmable spectralement en mode transmission, selon 30 certains modes de réalisation illustratifs de la présente invention ;

la Figure 2 est un graphique qui trace l'hystérésis tension-courant et l'intensité lumineuse de sortie d'un élément memristor ayant un pixel, selon certains modes de réalisation illustratifs de la présente invention ;

5 la Figure 3A est une illustration schématique de principe d'un réseau de memristors programmables spectralement en mode étalonnage, selon certains modes de réalisation illustratifs de la présente invention ;

10 la Figure 3B est une vue en coupe éclatée du réseau d'éléments memristor de la Figure 3A ;

15 la Figure 4 est une illustration schématique de principe d'un réseau d'éléments memristor pour l'utilisation dans un dispositif de calcul optique, selon une variante de mode de réalisation de la présente invention ;

20 la Figure 5 illustre une pluralité de dispositifs de calcul optique programmables spectralement positionnés le long d'un train de forage s'étendant le long d'un système de puits de forage 500 selon certains modes de réalisation illustratifs de la présente invention ; et

25 la Figure 6 est un schéma de principe d'un dispositif de calcul optique programmable spectralement utilisant une conception de mode de transmission, selon certains modes de réalisation illustratifs de la présente invention.

Description de modes de réalisation illustratifs

Des modes de réalisation illustratifs et des procédés associés sont décrits ci-après tels qu'ils 30 pourraient être utilisés dans un dispositif de calcul optique comprenant des memristors modifiables spectralement. Par souci de clarté, toutes les

caractéristiques d'un procédé ou d'une mise en œuvre réelle ne sont pas décrites dans ce mémoire. Bien entendu, il sera apprécié que dans le développement de n'importe quel mode de réalisation effectif, de 5 nombreuses décisions spécifiques à la mise en œuvre doivent être prises pour atteindre les objectifs spécifiques des développeurs, tels qu'une conformité à des contraintes liées au système et liées à l'activité, qui varieront d'une mise en œuvre à une autre. Par 10 ailleurs, il sera apprécié qu'un tel effort de développement peut être complexe et de longue durée, mais serait néanmoins une opération de routine pour l'homme du métier bénéficiant de cette invention. D'autres aspects et avantages des divers modes de réalisation et procédés 15 associés de l'invention ressortiront en considérant la description qui suit et les dessins.

Comme décrit ici, la présente invention concerne un dispositif de calcul optique qui utilise un élément memristor pour créer un dispositif optique programmable 20 spectralement. Un memristor, ou « résistance de mémoire », est un composant électrique non linéaire dans lequel sa résistance est liée à la tension électrique appliquée à ses bornes. Dans un mode de réalisation généralisé de la présente invention, un rayonnement 25 électromagnétique interagit optiquement avec un échantillon pour produire une lumière ayant interagi avec l'échantillon, qui est ensuite dirigée vers un élément memristor constitué d'un matériau spectralement modifiable. Un champ électromagnétique est appliqué à 30 travers l'élément memristor de manière à modifier ses propriétés spectrales. À leur tour, les propriétés spectrales de la lumière ayant interagi avec

l'échantillon interagissant optiquement avec l'élément memristor sont également modifiées, pour produire ainsi une lumière ayant interagi optiquement. Cette modification des propriétés spectrales permet de 5 « programmer » le memristor pour obtenir des fonctions de transmission/réflexion/absorption. La lumière ayant interagi optiquement est ensuite détectée par un ou plusieurs détecteurs, dans lequel des caractéristiques d'échantillon sont déterminées. En conséquence, les 10 dispositifs de calcul optique à base de memristors de la présente invention peuvent être utilisés dans une variété d'applications, comprenant, par exemple, des capteurs optiques de fond de puits multifonctionnels.

Comme indiqué précédemment, des éléments optiques à 15 couches minces ont été conçus et fabriqués en utilisant des couches alternées de matériaux à indice élevé et à faible indice déposées sur un substrat. Les équations fondamentales régissant les fonctions de transmission, de réflexion et d'absorption d'éléments optiques à couches 20 minces sont les équations de Fresnel, dérivées des équations de Maxwell. Le choix de matériaux est basé sur l'application et la plage de longueurs d'ondes d'intérêt. Comme exemple, pour une application infrarouge, il est possible de choisir a-Si (silicium amorphe) comme le 25 matériau à indice élevé, SiO₂ (dioxyde de silicium) comme le matériau à faible indice et le verre comme le substrat. Les procédés de fabrication comprennent généralement PVD (dépôt physique en phase vapeur tel que, par exemple, dépôt sous vide par faisceau d'électrons, 30 pulvérisation au magnétron RF, etc.), CVD (dépôt chimique en phase vapeur, tel que MOCVD, PECVD etc.), ALD (dépôt par couche atomique), etc.

Comme également indiqué, des modes de réalisation illustratifs de la présente invention utilisent des éléments memristor programmables spectralement. Les éléments memristor sont des composants électriques non linéaires reliant une charge électrique et un flux magnétique. L'équation fondamentale qui régit la liaison entre charge électrique (q) et flux magnétique (Φ) est connue comme :

10
$$d\Phi = M dq \quad \text{Eq. (1),}$$

également connue comme l'équation de la théorie des circuits pour un memristor. Dans l'équation 1, Φ est le flux magnétique, M est la résistance du memristor, et q est la charge. Par conséquent, ce type de dispositif présente une relation entre la résistance et la tension électrique appliquée aux bornes de l'élément memristor.

La Figure 1 illustre un élément memristor qui peut être utilisé dans un dispositif de calcul optique programmable spectralement en mode transmission, selon certains modes de réalisation illustratifs de la présente invention. Dans un mode de réalisation généralisé, le composant fondamental du dispositif de calcul optique est un élément memristor 100, comme représenté sur la Figure 1. Dans cet exemple, l'élément memristor 100 est un unique pixel memristor comme représenté ; toutefois, dans d'autres modes de réalisation, l'élément memristor peut être constitué d'une pluralité de pixels memristor. « Pixel memristor » se réfère à un unique memristor. Néanmoins, l'élément memristor 100 comprend une interface métal/semi-conducteur constituée d'une couche isolante/diélectrique 10, d'une couche semi-conductrice

pure 12 ayant des contacts métalliques 14 positionnés sur celle-ci, d'une couche semi-conductrice 16 ayant des défauts à l'intérieur, et d'une couche métallique 18. Les « défauts » dans la couche semi-conductrice 16 se 5 réfèrent à des semi-conducteurs non purs avec des défauts dans le réseau cristallin qui peuvent être fabriqués de différentes manières. Dans d'autres modes de réalisation cependant, la même fonctionnalité peut être obtenue par une interface diélectrique/semi-conducteur ou une 10 interface métal/oxyde métallique.

Dans certains modes de réalisation, l'interface métal/semi-conducteur peut être fabriquée en utilisant des techniques de traitement standard, telles que, par exemple, PVD, CVD ou ALD. La couche semi-conductrice 16 15 est déposée avec un niveau élevé de défauts présents dans le réseau cristallin du matériau de manière qu'une diffusion d'ions métalliques puisse se produire quand un rayonnement électromagnétique (par exemple, une tension électrique) est appliqué à travers le dispositif via la 20 couche métallique 18 et les contacts 14. La sélection du métal, du semi-conducteur, du niveau de défauts, etc., dépendra de l'application et de la plage de longueurs d'ondes d'intérêt.

Toujours en référence à la Figure 1, lorsque le 25 rayonnement électromagnétique 20 pénètre dans la couche semi-conductrice comportant des défauts 16, la couche 16 agit comme un guide d'onde, en atténuant le rayonnement électromagnétique 20 lorsqu'il passe à travers celle-ci, avec pour résultat la sortie d'une lumière ayant interagi 30 optiquement 22. Quand une onde électromagnétique est produite à travers la couche semi-conductrice 16, des ions métalliques diffusent dans la couche semi-

conductrice comportant des défauts 16 (le mécanisme de base est similaire à un dopage de semi-conducteur). L'onde électromagnétique peut être produite de plusieurs manières, comme, par exemple, une tension ou un courant 5 appliqué à travers la couche semi-conductrice 16. Toutefois, le nombre d'ions métalliques provenant de la couche métallique 18 et diffusant dans la couche semi-conductrice 16 augmente avec une augmentation du niveau de puissance de l'onde ou des ondes électromagnétiques, 10 en entraînant ainsi une diminution du rayonnement électromagnétique passant à travers la couche 16. La quantité de rayonnement électromagnétique 20 passant à travers la couche semi-conductrice 16 augmente avec une diminution du niveau de puissance de l'onde ou des ondes 15 électromagnétiques. Ce phénomène se produit en raison d'effets de dispersion et d'absorption provoqués par les ions métalliques diffusés dans la couche semi-conductrice 16. En conséquence, la couche semi-conductrice 16 peut également être désignée comme un « matériau spectralement 20 modifiable ».

Comme indiqué précédemment, l'élément memristor 100 est constitué par un unique pixel, mais dans d'autres modes de réalisation, l'élément memristor 100 peut être constitué d'une pluralité de pixels. La Figure 2 est un 25 graphique qui trace l'hystérésis tension-courant et l'intensité lumineuse de sortie d'un élément memristor ayant un pixel, selon certains modes de réalisation illustratifs de la présente invention. L'hystérésis tension-courant (ii) de l'élément memristor est tracée en 30 fonction de l'intensité lumineuse de sortie (i). En utilisant la courbe d'hystérésis, le % de transmission de rayonnement électromagnétique à travers la couche semi-

conductrice comportant des défauts peut être contrôlé. Un tel tracé peut être utilisé pour étalonner l'élément memristor de manière que la quantité nécessaire d'énergie électromagnétique (par exemple, tension, courant, etc.) soit appliquée à travers chaque pixel pour produire la sortie spectrale désirée. Une fois que la relation tension/transmission optique sur toutes les longueurs d'ondes est connue pour l'élément memristor, il peut être « programmé » pour obtenir n'importe quelle fonction de transmission/réflexion/absorption.

Toujours en référence à la Figure 1, bien que non représenté, un élément produisant un champ électromagnétique est couplé de manière communicante aux contacts 14 et à la couche métallique 18 de manière à produire le ou les champs électromagnétiques à travers la couche semi-conductrice 16. L'élément produisant un champ électromagnétique peut être couplé de manière communicante de différentes manières, comme, par exemple, par l'intermédiaire d'une connexion câblée ou sans fil. Quand des méthodes sans fils sont utilisées, les contacts 14 peuvent ne pas être nécessaires. L'élément produisant un champ électromagnétique peut être constitué par une pluralité de dispositifs, tels que, par exemple, une source de courant, une source de tension, une source électromagnétique, une source magnétique, une source thermique ou une source ionique. Indépendamment de la source utilisée, le résultat est la diffusion d'ions métalliques dans la couche semi-conductrice comportant des défauts 16 qui, à son tour, affecte la sortie spectrale de l'élément memristor 100.

La Figure 3A est une illustration schématique de principe d'un réseau de memristors programmables

spectralement en mode étalonnage, selon certains modes de réalisation illustratifs de la présente invention. Un système d'étalonnage 300 comprend un élément memristor 302, qui est lui-même constitué par un réseau de 5 memristors qui comprend quatre éléments memristor MR_1 , MR_2 , MR_3 et MR_4 . Chaque élément memristor $MR_1...MR_4$ peut être constitué d'un ou de plusieurs pixels. Le système d'étalonnage 300 comprend une source électromagnétique 304 (sélectionnée sur la base de l'application désirée) 10 qui produit un rayonnement électromagnétique 310, un dispositif de séparation optique 306, et un réseau d'éléments memristor 302 fabriqué de manière que les éléments memristor $MR_1...MR_4$ soient en parallèle par rapport au rayonnement incident.

15 Le dispositif de séparation optique 306 est n'importe quel dispositif utilisé pour séparer un rayonnement électromagnétique 310 en composantes de longueurs d'ondes, tel que, par exemple, un réseau de diffraction ou un élément de fractionnement spectral. Un 20 réseau de diffraction utilise le principe de diffraction pour diviser une lumière en ses composantes de longueurs d'ondes individuelles, alors qu'un élément de fractionnement spectral utilise la réfraction (comme des prismes, par exemple) ou peut utiliser des filtres passe- 25 bande ou des filtres coupe-bande spécialement conçus, des résonateurs en anneau, etc.

Durant le fonctionnement du système d'étalonnage 300, l'élément de séparation optique 306 divise le rayonnement électromagnétique 310 en ses composantes de 30 longueurs d'ondes individuelles 310_{CW}. Chaque élément memristor $MR_1...MR_4$ en réseau 302 est fabriqué de manière que chaque composante de longueur d'onde 310_{CW} entre au

niveau d'au moins un élément memristor $MR_1...MR_4$, dans lequel une lumière ayant interagi optiquement 312 est produite. Chaque élément memristor $MR_1...MR_4$ est conçu pour correspondre à la composante de longueur d'onde en 5 utilisant diverses techniques. Par exemple, dans certains modes de réalisation, le réseau de diffraction (quand il est utilisé comme l'élément 306), le réseau de memristors 302 et le réseau de détecteurs 308 sont alignés de manière qu'une seule longueur d'onde ou une plage étroite 10 de longueurs d'ondes entre dans chaque élément memristor $MR_1...MR_4$ en utilisant, par exemple, des positionneurs à l'échelle nanométrique. En variante, une fois que la lumière est divisée par le réseau de diffraction, des guides d'ondes peuvent également être utilisés pour 15 transporter la lumière divisée dans chaque élément memristor $MR_1...MR_4$. Dans l'exemple illustré, le dispositif de séparation optique 306 transmet une seule longueur d'onde à chaque élément memristor $MR_1...MR_4$. Dans d'autres exemples, cependant, plus d'une longueur d'onde ou une 20 plage étroite de longueurs d'ondes peut être transmise.

Afin d'étalonner le réseau de memristors 302 pour obtenir le modèle de transmission/réflexion/absorption désiré, un réseau de détecteurs optiques 308 comportant des détecteurs D_1-D_4 est utilisé. Dans cet exemple, chaque 25 élément memristor $MR_1...MR_4$ est constitué d'un unique pixel memristor et, par conséquent, le réseau de détecteurs 308 comprend un nombre correspondant de détecteurs. Toujours durant l'étalonnage, comme représenté sur la Figure 3A, un circuit de traitement 314 est couplé à un réseau 30 d'éléments memristor 302 de manière à programmer chaque élément memristor $MR_1...MR_4$. Tel qu'il est utilisé ici, l'étalonnage est un processus effectué pour trouver la

réponse optique (intensité lumineuse de sortie) of chaque élément memristor. Dans ce processus, une plage de tensions, par exemple, est appliquée à l'élément memristor et l'intensité lumineuse de sortie est mesurée, 5 comme représenté sur la Figure 2. Une fois que la réponse optique a été déterminée, la réponse optique peut être alors programmée en utilisant, par exemple, un microprocesseur à réseau logique programmable (représenté par le circuit de traitement 314).

10 La Figure 3B est une vue en coupe éclatée d'un réseau d'éléments memristor 302. Contrairement à l'élément memristor 100 qui est agencé en parallèle avec le rayonnement électromagnétique 20 (de manière que le rayonnement 20 se déplace à travers la couche 16 suivant son axe), un réseau d'éléments memristor 302 est agencé perpendiculairement à la composante de longueur d'onde 310_{CW}. En variante, il existe de nombreuses manières de déposer un élément memristor sans sortir de la portée de la présente invention. Néanmoins, comme décrit 15 précédemment, un ou des contacts 14 et la couche métallique 18 de chaque élément memristor MR₁...MR₄ sont couplés de manière communicante à un élément produisant un champ électromagnétique (non représenté) via des conducteurs 316₁-316₄. Dans d'autres exemples, toutefois, 20 l'élément produisant un champ électromagnétique peut être couplé de manière communicante par l'intermédiaire de moyens sans fil. Néanmoins, dans cet exemple, les conducteurs 316₁-316₄ sont couplés de manière communicante à une source de tension agissant comme l'élément 25 produisant un champ électromagnétique, ainsi qu'au circuit de traitement 314.

En se référant à la Figure 3B, afin d'effectuer l'étalonnage du réseau de memristors 302, la composante de longueur d'onde du rayonnement électromagnétique 310_{CW} interagit optiquement avec la couche semi-conductrice 16 comportant des défauts 16. La couche 16 agit comme un guide d'onde, en atténuant la lumière lorsqu'elle la traverse, en produisant ainsi une lumière ayant interagi optiquement 312. Dans cet exemple, une source de tension est utilisée comme l'élément produisant un champ électromagnétique comme décrit précédemment. Ainsi, quand une tension est appliquée à travers la couche semi-conductrice comportant des défauts 16, des ions métalliques diffusent dans la couche 16, en modifiant ainsi spectralement le matériau semi-conducteur dans la couche 16. Le nombre d'ions métalliques provenant de la couche métallique 18 qui diffusent dans la couche semi-conductrice 16 augmente avec une augmentation du niveau de puissance de l'onde ou des ondes électromagnétiques, en entraînant ainsi une diminution du rayonnement électromagnétique passant à travers la couche 16. La quantité de rayonnement électromagnétique 20 passant à travers la couche semi-conductrice 16 augmente avec une diminution du niveau de puissance de l'onde ou des ondes électromagnétiques. Le détecteur (non représenté) est utilisé pour mesurer la réponse optique (intensité lumineuse de sortie) sortant d'un réseau d'éléments memristor 302, qui est ensuite utilisée pour programmer le réseau 302 à l'aide du circuit de traitement 314.

De nouveau, ce phénomène se produit en raison des effets de dispersion et d'absorption provoqués par les ions métalliques diffusés dans la couche semi-conductrice 16. À l'aide de la courbe d'hystérésis (par exemple, la

Figure 2), le % de transmission de lumière à travers la couche semi-conductrice comportant des défauts 16 peut être contrôlé. Une fois que la relation tension/transmission optique sur toutes les longueurs 5 d'ondes est connue pour un réseau d'éléments memristor 302, le réseau 302 peut être « programmé » pour obtenir n'importe quelle fonction de transmission/réflexion/absorption. Un tel procédé peut également être utilisé pour n'importe quel autre élément 10 produisant un champ électromagnétique utilisé.

Chaque élément memristor MR₁...MR₄ est agencé suivant un ordre requis par l'application désirée. Par exemple, cet exemple particulier comporte 4 pixels memristor MR₁...MR₄. Toutefois, celui-ci peut être étendu à un réseau 15 de « n x n » pixels. Par ailleurs, le nombre de pixels dans les directions horizontale et verticale peut également changer avec l'application.

Quand un réseau d'éléments memristor 302 est utilisé dans une application désirée, chaque élément memristor 20 MR₁...MR₄ peut être couplé de manière communicante à son propre élément produisant un champ électromagnétique via les conducteurs 316 ou des moyens sans fil. Dans certains modes de réalisation illustratifs, chaque élément produisant un champ électromagnétique (couplé au circuit 25 de traitement 314) peut être programmé pour produire des champs électromagnétiques ayant des niveaux de puissance différents, en offrant ainsi la possibilité de modifier la couche semi-conductrice 16 de chaque élément memristor comme désiré. En conséquence, chaque élément memristor 30 MR₁...MR₄ peut avoir une propriété spectrale différente.

La Figure 4 est une illustration schématique de principe d'un réseau d'éléments memristor pour

l'utilisation dans un dispositif de calcul optique, selon une variante de mode de réalisation de la présente invention. Dans cet exemple, un réseau d'éléments memristor 400 comprend des éléments memristor MR₁...MR₄ 5 agencés ou fabriqués en série de manière que le réseau 400 émule un empilement traditionnel de couches minces composé de matériaux à indice élevé et à faible indice en alternance. Dans ce cas, chaque élément memristor MR₁...MR₄ est fabriqué en utilisant une couche métallique 18, une 10 couche semi-conductrice comportant des défauts 16, des conducteurs 416₁-416₄ et une couche semi-conductrice pure 12, dans lequel chaque élément memristor MR₁...MR₄ est séparé par une couche diélectrique 10. Chaque élément memristor MR₁...MR₄ comprend des conducteurs 316₁-316₄, 15 comme décrit précédemment, qui sont couplés de manière communicante à un élément produisant un champ électromagnétique (non représenté).

Dans cet exemple, une source de tension est utilisée comme l'élément produisant un champ électromagnétique. 20 Lorsqu'un rayonnement électromagnétique à large bande 410 passe à travers chaque élément memristor MR₁...MR₄ d'une manière séquentielle, le rayonnement 410 interagit optiquement avec chacun pour produire une lumière ayant interagi optiquement 412. Ainsi, quand une tension 25 variable est appliquée sur chaque élément memristor MR₁...MR₄, les ions provenant de la couche métallique 18 pénètrent dans la couche semi-conductrice comportant des défauts 16, en diminuant et/ou en augmentant effectivement l'indice de réfraction des couches semi- 30 conductrices comportant des défauts 16. Ceci crée un scénario d'un matériau à indice élevé suivi par un matériau à faible indice, qui est similaire à un design

traditionnel à couches minces. Le nombre d'ions diffusant dans la couche semi-conductrice comportant des défauts 16 est régi par la courbe d'hystérésis tension-courant pour l'élément memristor, comme décrit précédemment. Par 5 ailleurs, tout comme dans les modes de réalisation précédents, chaque élément memristor MR₁...MR₄ peut être couplé de manière communicante à un élément produisant un champ électromagnétique pour modifier ainsi le matériau spectralement modifiable de la couche 16.

10 Maintenant que les principes fondamentaux de la présente invention ont été fournis ci-dessus, des dispositifs de calcul optique illustratifs seront maintenant décrits. Dans le mode de réalisation préféré entre tous, les dispositifs de calcul optique décrits ici 15 utilisent un ou plusieurs éléments memristor pour déterminer des caractéristiques d'un échantillon. Comme décrit précédemment, le ou les éléments memristor sont configurés pour recevoir une entrée de rayonnement électromagnétique à partir d'une substance ou d'un 20 échantillon de la substance et produire une sortie de rayonnement électromagnétique qui correspond à une caractéristique de l'échantillon. Quand un rayonnement électromagnétique interagit avec une substance, des 25 informations physiques et chimiques uniques concernant la substance sont codées dans le rayonnement électromagnétique qui est réfléchi à partir de, transmis à travers ou rayonné à partir de l'échantillon. Ainsi, le dispositif de calcul optique, grâce à l'utilisation du ou des éléments memristor, est capable d'extraire les 30 informations d'une ou de multiples caractéristiques/propriétés ou d'analytes à l'intérieur d'un échantillon, et de convertir ces informations en une

sortie détectable concernant les propriétés générales d'un échantillon.

Les dispositifs de calcul optique décrits ici peuvent être utilisés dans une pluralité 5 d'environnements. De tels environnements peuvent comprendre, par exemple, des applications de puits de forage ou de conditionnement de puits. D'autres environnements peuvent comprendre des environnements aussi divers que ceux associés à la surveillance de 10 surface et sous-marine, la surveillance de satellites et de drones, la surveillance de pipelines, ou même des capteurs traversant une cavité corporelle telle qu'un appareil digestif. Dans ces environnements, les dispositifs de calcul optique sont utilisés pour 15 détecter/surveiller des caractéristiques d'échantillon en temps réel.

Bien que les dispositifs de calcul optique décrits ici puissent être utilisés dans une pluralité d'environnements, la description ci-après se concentrera 20 sur des applications de puits de forage. La Figure 5 illustre une pluralité de dispositifs de calcul optique programmables spectralement 522 positionnés le long d'un train de forage 521 s'étendant le long d'un système de puits de forage 500 selon certains modes de réalisation 25 illustratifs de la présente invention. Le train de forage 521 peut être, par exemple, un ensemble de diagraphie, une colonne de production ou un ensemble de forage (par exemple, la diagraphie en cours de forage (« LWD »), la mesure en cours de forage (« MWD »), etc.). En variante, 30 des dispositifs de calcul optique 522 peuvent également être déployés dans une application avec câble. Néanmoins, un système de puits de forage 500 comprend un puits

vertical 512 s'étendant vers le bas dans une formation d'hydrocarbures 514 (bien que non illustré, le puits 512 peut également comprendre une ou plusieurs sections latérales). Un équipement de puits 520 est positionné au 5 sommet du puits vertical 512, tel qu'entendu dans l'art. L'équipement de puits peut être, par exemple, un bloc obturateur de puits, un derrick, une plateforme flottante, etc. Tel qu'entendu dans l'art, après que le puits vertical 512 est formé, des éléments tubulaires 516 10 (un tubage, par exemple) sont étendus à l'intérieur pour achever le puits 512.

Un ou plusieurs dispositifs de calcul optique programmables spectralement 522 peuvent être positionnés le long du puits 512 dans n'importe quel emplacement 15 désiré. Dans certains modes de réalisation, des dispositifs de calcul optique 522 sont positionnés le long des surfaces internes et externes d'un outil de fond de puits 518 (comme représenté sur la Figure 5) qui peut être, par exemple, un équipement d'intervention, un équipement géodésique ou un équipement de conditionnement 20 comprenant des vannes, des conditionneurs, des filtres, des mandrins, des mandrins calibres, en plus des éléments tubulaires/joints de cuvelage et de tubage. En variante, toutefois, des dispositifs de calcul optique 522 peuvent 25 être fixés de manière permanente ou amovible à des éléments tubulaires 516 et distribués sur tout le puits 512 dans n'importe quelle zone dans laquelle une évaluation d'échantillon est désirée. Des dispositifs de calcul optique 522 peuvent être couplés à une 30 alimentation à distance (située à la surface ou un générateur électrique positionné au fond le long du puits, par exemple), alors que dans d'autres modes de

réalisation, chaque dispositif de calcul optique 522 comprend une batterie embarquée. Par ailleurs, des dispositifs de calcul optique 522 sont couplés de manière communicante à une station CPU 524 via une liaison de communication 26, telle que, par exemple, une ligne câblée, un couplage inductif ou autre liaison de communication appropriée. Le nombre et l'emplacement des dispositifs de calcul optique 522 peuvent être manipulés comme désiré.

Chaque dispositif de calcul optique 522 comprend un ou plusieurs éléments memristor qui interagissent optiquement avec un échantillon d'intérêt (fluide de forage, élément d'outil de fond de puits, tubage, formation, par exemple) pour déterminer une caractéristique de l'échantillon. Dans certains modes de réalisation illustratifs, des dispositifs de calcul optique 522 peuvent être dédiés à la détection de caractéristiques d'échantillon, ainsi qu'à l'évaluation de la formation. Des dispositifs de calcul optique 522 peuvent également déterminer la présence et la quantité de gaz inorganiques spécifiques tels que, par exemple, CO₂ et H₂S, de gaz organiques tels que le méthane (C1), l'éthane (C2) et le propane (C3) et l'eau salée, en plus d'ions dissous (Ba, Cl, Na, Fe, ou Sr, par exemple) ou diverses autres caractéristiques (p.H., densité et poids spécifique, viscosité, matières dissoutes totales, teneur en sable, etc.). Par ailleurs, la présence de données de caractéristiques de formation (porosité, composition chimique de la formation, etc.) peut également être déterminée. Dans certains modes de réalisation, un unique dispositif de calcul optique 522 peut détecter une unique caractéristique, alors que dans d'autres, un unique

dispositif de calcul optique 522 peut déterminer de multiples caractéristiques.

La station CPU 524 comprend un processeur de signal (non représenté), un module de communication (non représenté) et d'autres circuits nécessaires pour atteindre les objectifs de la présente invention. De plus, il sera également reconnu que les instructions de logiciel nécessaires pour réaliser les objectifs de la présente invention peuvent être stockées dans un dispositif de stockage situé dans la station CPU 524 ou chargées dans ce dispositif de stockage à partir d'un CD-ROM ou d'autres supports de stockage appropriés par le biais de méthodes câblées ou sans fil. La liaison de communication 526 fournit un support de communication entre la station CPU 524 et des dispositifs de calcul optique 522. La liaison de communication 526 peut être une liaison câblée, telle que, par exemple, une ligne câblée ou un câble à fibre optique s'étendant vers le bas dans le puits vertical 512. En variante, toutefois, la liaison de communication 526 peut être une liaison sans fil, telle que, par exemple, un dispositif électromagnétique de fréquence appropriée ou d'autres procédés comprenant des dispositifs de communication acoustique et similaires.

Dans certains modes de réalisation illustratifs, la station CPU 524, via son processeur de signal, commande le fonctionnement de chaque dispositif de calcul optique 522. En plus des opérations de détection, la station CPU 524 peut également commander l'activation et la désactivation de dispositifs de calcul optique 522. Les dispositifs de calcul optique 522 comprennent chacun un émetteur et un récepteur (émetteur-récepteur, par

exemple) (non représenté) qui permet une communication bidirectionnelle sur la liaison de communication 526 en temps réel. Dans certains modes de réalisation illustratifs, les dispositifs de calcul optique 522 5 transmettront la totalité ou une partie des données de caractéristiques d'échantillon à la station CPU 524 pour une analyse ultérieure. Toutefois, dans d'autres modes de réalisation, cette analyse est gérée entièrement par chaque dispositif de calcul optique 522 et les données 10 résultantes sont ensuite transmises à la station CPU 524 pour un stockage ou une analyse successive. Dans un mode de réalisation comme dans l'autre, le processeur gérant les calculs analyse les données de caractéristiques et, par le biais de l'utilisation d'une équation d'état 15 (« EOS »), d'autres techniques d'analyse optique, obtient la caractéristique d'échantillon indiquée par les données transmises.

Toujours en référence au mode de réalisation illustratif de la Figure 5, des dispositifs de calcul optique 522 sont positionnés le long d'un train de forage 20 521 dans n'importe quel emplacement désiré. Dans cet exemple, des dispositifs de calcul optique 522 sont positionnés le long du diamètre extérieur de l'outil de fond de puits 518. Les dispositifs de calcul optique 522 25 ont un boîtier résistant à la température et à la pression suffisant pour supporter l'environnement sévère de fond de puits. Une variété de matériaux peut être utilisée pour le boîtier, comprenant, par exemple, des aciers inoxydables et leurs alliages, le titane et 30 d'autres métaux à haute résistance, et même des composites à fibre de carbone et des structures de saphir ou de diamant, tel qu'entendu dans l'art. Dans certains

modes de réalisation, les dispositifs de calcul optique 522 sont des modules en forme de dôme (comparables à un plafonnier de véhicule) qui peuvent être fixés de manière permanente ou amovible à une surface en utilisant un 5 procédé approprié (soudage, aimants, etc.). Des formes de boîtier de module peuvent varier énormément, pourvu qu'elles isolent des composants de l'environnement sévère de fond de puits tout en permettant encore un trajet optique unidirectionnel ou bidirectionnel (ou un 10 rayonnement électromagnétique) du capteur à l'échantillon d'intérêt. Les dimensions seront déterminées par l'application et les conditions environnementales spécifiques.

En variante, des dispositifs de calcul optique 522 peuvent former une partie d'un outil de fond de puits 518 (comme représenté sur la Figure 5) le long de son diamètre intérieur (pour détecter la présence de fluides s'écoulant à travers l'outil 518, par exemple) ou de son diamètre extérieur (pour détecter la présence de fluides 20 s'écoulant à travers l'espace annulaire entre le train de forage 521 et les éléments tubulaires 516 ou des données de caractéristiques de formation, par exemple). Dans d'autres modes de réalisation, comme cela sera décrit ci-après, des dispositifs de calcul optique 522 peuvent être 25 couplés à l'outil de fond de puits 518 en utilisant un bras extensible (stabilisateur réglable, racleur de tubage, tracteur de fond de puits, par exemple) afin d'étendre le dispositif de calcul optique 522 à proximité immédiate d'une autre surface (tubage, corps d'outil, 30 formation, etc.) pour détecter ainsi des caractéristiques d'échantillon. Comme décrit précédemment, des dispositifs de calcul optique 522 peuvent également être fixés de

manière permanente au diamètre intérieur de l'élément tubulaire 516 par une soudure ou un autre procédé approprié. Toutefois, dans un autre mode de réalisation encore, des dispositifs de calcul optique 522 sont 5 appliqués de manière amovible au diamètre intérieur des éléments tubulaires 516 en utilisant des aimants ou des structures physiques de manière que les dispositifs de calcul optique 522 puissent être retirés périodiquement à des fins d'entretien ou autres.

10 La Figure 6 est un schéma de principe d'un dispositif de calcul optique programmable spectralement 600 utilisant une conception de mode transmission, selon certains modes de réalisation illustratifs de la présente invention. Une source de rayonnement électromagnétique 15 608 peut être configurée pour émettre ou générer autrement un rayonnement électromagnétique 610. Tel qu'entendu dans l'art, une source de rayonnement électromagnétique 608 peut être n'importe quel dispositif capable d'émettre ou de générer un rayonnement 20 électromagnétique. Par exemple, une source de rayonnement électromagnétique 608 peut être une ampoule, un dispositif électroluminescent, un laser, un corps noir, un cristal photonique ou une source de rayons X, etc. Dans un mode de réalisation, le rayonnement 25 électromagnétique 610 peut être configuré pour interagir optiquement avec l'échantillon 606 (fluide de puits s'écoulant à travers le puits 512 ou une portion de la formation 514, par exemple) et générer une lumière ayant interagi avec l'échantillon 612 dirigée vers un 30 séparateur de faisceau 602. L'échantillon 606 peut être n'importe quel fluide (liquide ou gaz), substance solide ou matériel tel que, par exemple, des composants d'outil

de fond de puits, des éléments tubulaires, des formations de roches, des suspensions huileuses, des sables, des boues, des déblais de forage, du béton, d'autres surfaces solides, etc. Dans d'autres modes de réalisation, 5 toutefois, l'échantillon 606 est un fluide de puits multiphasique (comprenant l'huile, le gaz, l'eau, des solides, par exemple) comprenant une pluralité de caractéristiques de fluides telles que, par exemple, des hydrocarbures C1-C4 et supérieurs, des groupements de 10 tels éléments, et de l'eau salée. Toutefois, si l'échantillon est un composant d'outil de fond de puits, les données de caractéristiques peuvent correspondre à des défauts physiques dans la surface du composant comme, par exemple, des piqûres.

15 L'échantillon 606 peut être fourni à un dispositif de calcul optique 600 à travers un tube d'écoulement ou une cellule d'échantillon, par exemple, contenant l'échantillon 606, moyennant quoi il est présenté à un rayonnement électromagnétique 610. En variante, le 20 dispositif de calcul optique 600 peut utiliser une configuration optique constituée d'un élément de réflexion interne qui analyse le fluide de puits lorsqu'il s'écoule par celui-ci ou qui analyse la surface de l'échantillon (surface de formation, par exemple). 25 Alors que la Figure 6 montre le rayonnement électromagnétique 610 passant à travers ou incident sur l'échantillon 606 pour produire une lumière ayant interagi avec l'échantillon 612 (c'est-à-dire en mode transmission ou fluorescent), il est également envisagé 30 ici de réfléchir le rayonnement électromagnétique 610 par l'échantillon 606 (c'est-à-dire en mode réflexion), comme dans le cas d'un échantillon 606 qui est translucide,

opaque ou solide, et génère également la lumière ayant interagi avec l'échantillon 612.

Après avoir été illuminé avec le rayonnement électromagnétique 610, l'échantillon 606 contenant un analyte d'intérêt (une caractéristique de l'échantillon, par exemple) produit une sortie de rayonnement électromagnétique (lumière ayant interagi avec l'échantillon 612, par exemple). Finalement, la station CPU 524 (ou un dispositif embarqué à processeur 600) analyse ces informations spectrales pour déterminer une ou plusieurs caractéristiques d'échantillon. Bien que non représenté spécifiquement, un ou plusieurs éléments spectraux peuvent être utilisés dans un dispositif de calcul optique 600 afin de limiter les longueurs d'ondes et/ou les largeurs de bandes optiques du système et éliminer ainsi un rayonnement électromagnétique indésirable existant dans des régions de longueurs d'ondes qui n'ont aucune importance. Comme cela sera compris par l'homme du métier tirant profit de cette invention, ces éléments spectraux peuvent être situés n'importe où le long du train optique, mais sont généralement utilisés directement après la source de lumière qui fournit le rayonnement électromagnétique initial.

Toujours en référence au mode de réalisation illustratif de la Figure 6, un séparateur de faisceau 602 est utilisé pour diviser la lumière ayant interagi avec l'échantillon 612 en un rayonnement électromagnétique transmis 614 et un rayonnement électromagnétique réfléchi 620. Le rayonnement électromagnétique transmis 614 est ensuite dirigé vers un élément memristor 604. L'élément memristor 604 peut être n'importe lequel des éléments

memristor décrits ici, dans lequel l'élément memristor a été configuré pour être associé à une caractéristique d'échantillon particulière 606 ou peut être conçu pour approcher ou reproduire le vecteur de régression de la 5 caractéristique d'une manière souhaitée.

L'élément memristor 604 est couplé de manière communicante à un élément produisant un champ électromagnétique 606 via un fil conducteur 626. Bien que représenté comme un unique élément produisant un champ 10 électromagnétique, il peut être constitué de multiples éléments produisant un champ électromagnétique quand l'élément memristor 604 comprend une pluralité de pixels ou est un réseau. Dans de tels modes de réalisation, chaque élément memristor dans le réseau peut avoir ses 15 propres fils conducteurs dédiés ou un autre mécanisme de couplage approprié. En variante, l'élément produisant un champ électromagnétique 606 peut être couplé de manière communicante à l'élément memristor 604 par l'intermédiaire de moyens sans fil. L'élément produisant 20 un champ électromagnétique 606 peut être une variété de dispositifs, comme, par exemple, une source de courant, une source de tension, une source électromagnétique, une source magnétique, une source thermique ou une source ionique. Par exemple, l'élément produisant un champ 25 électromagnétique 606 peut être une source de champ électromagnétique qui génère une onde électromagnétique et l'émet vers l'élément memristor 604. L'onde électromagnétique induira à son tour un courant à travers l'élément memristor 604 qui modifiera les propriétés 30 spectrales de la couche semi-conductrice comportant des défauts, comme décrit ici.

Toujours en référence à la Figure 6, le dispositif de calcul optique programmable spectralement 600 comprend également un module de gestion de puissance 630 couplé de manière communicante à l'élément produisant un champ électromagnétique 606 via une connexion 632 pour commander ainsi la puissance de sortie de l'élément produisant un champ électromagnétique 606 vers l'élément memristor 604. Dans certains modes de réalisation illustratifs, le module de gestion de puissance 630 est une puce de gestion de puissance préprogrammée qui commande la tension à travers chaque élément memristor (quand un réseau de memristors est utilisé) pour obtenir ainsi la ou les fonctions de transmission désirées. Dans de tels modes de réalisation, le module de gestion de puissance comprend un circuit de traitement qui commande le fonctionnement de l'élément produisant un champ électromagnétique 606 pour délivrer ainsi la tension nécessaire (ou autre électromagnétisme) à chaque élément memristor pour affecter la fonction de sortie. Le module de gestion de puissance peut être inclus dans la station CPU 524 ou peut être son propre dispositif embarqué de module autonome 600.

Une fois que la sortie spectrale de l'élément memristor 604 a été programmée par le module de gestion de puissance 606, le rayonnement électromagnétique transmis 614 interagit optiquement avec l'élément memristor 604 pour produire une lumière ayant interagi optiquement 622. Dans ce mode de réalisation, la lumière ayant interagi optiquement 622, qui est liée à la caractéristique ou l'analyte d'intérêt, est acheminée jusqu'au détecteur 616 pour une analyse et une quantification. Le détecteur 616 peut être n'importe quel

dispositif capable de détecter un rayonnement électromagnétique, et peut être caractérisé en général comme un transducteur optique. Par exemple, le détecteur 616 peut être, mais sans s'y limiter, un détecteur 5 thermique tel qu'une thermopile ou un détecteur photo-acoustique, un détecteur à semi-conducteur, un détecteur piézoélectrique, un détecteur à dispositif à couplage de charge, un détecteur vidéo ou à matrice, un détecteur de fractionnement, un détecteur de photons (tel qu'un tube 10 photomultiplicateur), des photodiodes, n'importe quels réseaux de ce type et/ou des combinaisons de ceux-ci, ou similaires, ou d'autres détecteurs connus de l'homme du métier. Le détecteur 616 est configuré en outre pour produire un signal de sortie 628 sous la forme d'une 15 tension qui correspond à la caractéristique de l'échantillon 606. Dans au moins un mode de réalisation, le signal de sortie 628 produit par le détecteur 616 et la concentration de caractéristique de l'échantillon 606 peuvent être directement proportionnels. Dans d'autres 20 modes de réalisation, la relation peut être une fonction polynomiale, une fonction exponentielle et/ou une fonction logarithmique.

Le dispositif de calcul optique 600 comprend un deuxième détecteur 618 agencé pour recevoir et détecter 25 un rayonnement électromagnétique réfléchi et délivrer en sortie un signal de normalisation 624. Comme entendu dans l'art, le rayonnement électromagnétique réfléchi 620 peut comprendre une variété d'écarts de rayonnement provenant de la source de rayonnement électromagnétique 608 comme, 30 par exemple, des fluctuations d'intensité dans le rayonnement électromagnétique, des fluctuations d'interférents (par exemple, la poussière ou d'autres

substances interférentes passant devant la source de rayonnement électromagnétique), des combinaisons de celles-ci, ou similaires. Ainsi, le deuxième détecteur 618 détecte également de tels écarts de rayonnement. Dans 5 une variante de mode de réalisation, le deuxième détecteur 618 peut être agencé pour recevoir une partie de la lumière ayant interagi avec l'échantillon 612 au lieu du rayonnement électromagnétique réfléchi 620, et compenser ainsi des écarts de rayonnement électromagnétique provenant de la source de rayonnement électromagnétique 608. Dans d'autres modes de réalisation encore, le deuxième détecteur 618 peut être agencé pour recevoir une partie du rayonnement électromagnétique 610 au lieu du rayonnement électromagnétique réfléchi 620, et 10 compenser ainsi également des écarts de rayonnement électromagnétique provenant de la source de rayonnement électromagnétique 608. N'importe quelle variété de modifications de conception peut être utilisée en 15 combinaison avec la présente invention.

20 Bien que non représenté sur la Figure 6, dans certains modes de réalisation illustratifs, le détecteur 616 et le deuxième détecteur 618 peuvent être couplés de manière communicante à un module de gestion de puissance 630 ou un autre dispositif de calcul optique embarqué à 25 processeur de signal 200 de manière que le signal de normalisation 624 indicatif des écarts de rayonnement électromagnétique puisse être fourni ou au moins acheminé à celui-ci. Le processeur de signal peut alors être configuré pour combiner par calcul le signal de normalisation 624 avec un signal de sortie 628 pour 30 fournir une détermination plus précise de la caractéristique de l'échantillon 606. Toutefois, dans

d'autres modes de réalisation qui n'utilisaient qu'un seul détecteur, le processeur de signal pourrait être couplé à ce un détecteur. Néanmoins, dans le mode de réalisation de la Figure 6, par exemple, le processeur de signal combine par calcul le signal de normalisation 624 avec le signal de sortie 628 par le biais de techniques d'analyse de composantes principales comme, par exemple, les moindres carrés partiels standard qui sont disponibles dans la plupart des progiciels d'analyse statistique (par exemple, XL Stat pour MICROSOFT® EXCEL® ; le UNSCRAMBLER® du logiciel CAMO et MATLAB® de MATHWORKS®). Ultérieurement, les données résultantes sont alors transmises à la station CPU 524 via une liaison de communication 526 pour d'autres opérations.

L'homme du métier tirant profit de la présente invention réalise que le dispositif de calcul optique mentionné ci-dessus est de nature illustrative et qu'il existe une variété d'autres configurations optiques qui peuvent être utilisées. Ces configurations optiques comprennent non seulement les procédés de réflexion, d'absorption ou de transmission décrits ici, mais peuvent également impliquer une diffusion (Raleigh et Raman, par exemple) ainsi qu'une émission (fluorescence, excitation par rayons X, etc., par exemple). De plus, les dispositifs de calcul optique peuvent comprendre une configuration de traitement en parallèle moyennant quoi la lumière ayant interagi avec l'échantillon est divisée en de multiples faisceaux. Les multiples faisceaux peuvent ensuite passer simultanément à travers des éléments memristor correspondants, dans lesquels de multiples caractéristiques et/ou analytes d'intérêt sont détectées simultanément.

La configuration de traitement en parallèle est particulièrement utile dans les applications qui nécessitent une puissance extrêmement basse ou aucune partie mobile. Dans une autre variante encore de mode de 5 réalisation, divers éléments memristor peuvent être positionnés en série dans un unique dispositif de calcul optique. Ce mode de réalisation est particulièrement utile s'il est nécessaire de mesurer les concentrations des analytes dans différents emplacements (dans chaque 10 tube de mélange individuel, par exemple). Il est également parfois utile, si chacun des éléments memristor utilise deux sources de lumière sensiblement différentes (UV et IR, par exemple), de couvrir les activités optiques de toutes les caractéristiques ou analytes 15 d'intérêt (c'est-à-dire que certains analytes pourraient être seulement réactifs aux UV, alors que d'autres sont réactifs à l'IR). Néanmoins, le choix d'une configuration optique spécifique dépend principalement de l'application spécifique et des analytes d'intérêt.

20 Par ailleurs, les éléments memristor utilisés dans certains modes de réalisation de la présente invention peuvent ne pas être à base de semi-conducteurs. Par exemple, des éléments memristor à base de plastique ou des éléments à base de graphènes peuvent également être 25 utilisés.

Des modes de réalisation décrits ci-dessus concernent en outre n'importe lequel d'un ou de plusieurs des paragraphes suivants :

1. Dispositif de calcul optique programmable 30 spectralement, comprenant : un rayonnement électromagnétique qui interagit optiquement avec un échantillon pour produire une lumière ayant interagi avec

l'échantillon ; un élément memristor comprenant un matériau spectralement modifiable, l'élément memristor étant positionné pour interagir spectralement avec la lumière ayant interagi avec l'échantillon pour produire 5 une lumière ayant interagi optiquement qui correspond à une caractéristique de l'échantillon ; un champ électromagnétique produit à travers l'élément memristor pour modifier le matériau spectralement modifiable, en modifiant ainsi une propriété spectrale du rayonnement 10 électromagnétique pour produire la lumière ayant interagi optiquement ; et un détecteur positionné pour mesurer la lumière ayant interagi optiquement et générer un signal, dans lequel le signal est utilisé pour déterminer la caractéristique de l'échantillon.

15 2. Dispositif de calcul optique tel que défini dans le paragraphe 1, comprenant en outre un élément produisant un champ électromagnétique couplé de manière communicante à l'élément memristor pour produire le champ électromagnétique à travers l'élément memristor.

20 3. Dispositif de calcul optique tel que défini dans les paragraphes 1 ou 2, dans lequel l'élément produisant un champ électromagnétique est une source de courant, une source de tension, une source électromagnétique, une source magnétique, une source 25 thermique ou une source ionique.

30 4. Dispositif de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 1 à 3, comprenant en outre un module de gestion de puissance couplé de manière communicante à l'élément produisant un champ électromagnétique pour produire ainsi différents niveaux de puissance.

5. Dispositif de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 1 à 4, dans lequel l'élément memristor comprend un ou plusieurs pixels memristor.

5 6. Dispositif de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 1 à 5, dans lequel l'élément memristor est un réseau d'éléments memristor comprenant une pluralité d'éléments memristor.

10 7. Dispositif de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 1 à 6, dans lequel chaque élément memristor est couplé de manière communicante à un élément produisant un champ électromagnétique pour produire ainsi le champ électromagnétique à travers chaque élément memristor.

15 8. Dispositif de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 1 à 7, dans lequel chaque élément memristor comprend une propriété spectrale différente produite par le champ électromagnétique appliqué à travers celui-ci.

20 9. Dispositif de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 1 à 8, comprenant en outre : une source de rayonnement électromagnétique pour générer le rayonnement électromagnétique ; et un élément de séparation optique positionné pour séparer le 25 rayonnement électromagnétique en composantes de longueurs d'ondes et pour diriger les composantes de longueurs d'ondes vers un élément memristor correspondant.

30 10. Dispositif de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 1 à 9, dans lequel l'élément de séparation optique est un élément de diffraction ou un élément de fractionnement spectral.

11. Dispositif de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 1 à 10, dans lequel chaque élément memristor dans le réseau de memristors correspond à une composante de longueur d'onde différente 5 du rayonnement électromagnétique.

12. Dispositif de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 1 à 11, dans lequel l'élément memristor est un réseau d'éléments memristor comprenant une pluralité d'éléments memristor positionnés 10 pour interagir optiquement avec le rayonnement électromagnétique d'une manière séquentielle.

13. Dispositif de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 1 à 12, dans lequel chaque élément memristor est couplé de manière 15 communicante à un élément produisant un champ électromagnétique pour produire ainsi le champ électromagnétique à travers chaque élément memristor du réseau d'éléments memristor.

14. Dispositif de calcul optique tel que défini 20 dans l'un quelconque des paragraphes 1 à 13, dans lequel chaque élément memristor du réseau d'éléments memristor comprend une propriété spectrale différente produite par le champ électromagnétique.

15. Dispositif de calcul optique tel que défini 25 dans l'un quelconque des paragraphes 1 à 14, comprenant en outre un processeur de signal couplé de manière communicante au détecteur pour déterminer par calcul la caractéristique de l'échantillon.

16. Dispositif de calcul optique tel que défini 30 dans l'un quelconque des paragraphes 1 à 15, dans lequel le dispositif optique comprend une partie d'un dispositif d'interrogation de réservoir.

17. Procédé de calcul optique, comprenant : l'interaction optique d'un rayonnement électromagnétique avec un échantillon pour produire une lumière ayant interagi avec l'échantillon ; l'application d'un champ électromagnétique à travers un élément memristor ayant un matériau spectralement modifiable, en modifiant ainsi le matériau spectralement modifiable ; l'interaction optique de la lumière ayant interagi avec l'échantillon avec l'élément memristor pour produire une lumière ayant interagi optiquement qui correspond à une caractéristique de l'échantillon ; la détection de la lumière ayant interagi optiquement et ainsi la génération d'un signal qui correspond à la lumière ayant interagi optiquement ; et la détermination de la caractéristique de l'échantillon en utilisant le signal.

18. Procédé de calcul optique tel que défini dans le paragraphe 17, dans lequel un élément produisant un champ électromagnétique est utilisé pour générer le champ électromagnétique appliqué à travers l'élément memristor.

19. Procédé de calcul optique tel que défini dans les paragraphes 17 ou 18, dans lequel l'élément produisant un champ électromagnétique est une source de courant, une source de tension, une source électromagnétique, une source magnétique, une source thermique ou une source ionique.

20. Procédé de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 17-19, comprenant en outre l'utilisation d'un module de gestion de puissance pour produire des niveaux de puissance différents de champs électromagnétiques.

21. Procédé de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 17-20, dans lequel :

l'élément memristor est un réseau d'éléments memristor comprenant une pluralité d'éléments memristor, chaque élément memristor étant couplé de manière communicante à un élément produisant un champ électromagnétique ; et le 5 procédé comprend en outre l'utilisation des éléments produisant un champ électromagnétique pour produire un champ électromagnétique à travers chaque élément memristor.

22. Procédé de calcul optique tel que défini dans 10 l'un quelconque des paragraphes 17-21, comprenant en outre la modification d'une propriété spectrale de chaque élément memristor de manière que chaque propriété spectrale soit différente.

23. Procédé de calcul optique tel que défini dans 15 l'un quelconque des paragraphes 17-22, comprenant en outre : la séparation du rayonnement électromagnétique en composantes de longueurs d'ondes ; et l'acheminement des composantes de longueurs d'ondes vers un élément memristor correspondant.

20 24. Procédé de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 17-23, dans lequel l'élément memristor est un réseau d'éléments memristor comprenant une pluralité d'éléments memristor ; et le procédé comprend en outre l'interaction optique du 25 rayonnement électromagnétique avec les éléments memristor d'une manière séquentielle.

25. Procédé de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 17-24, dans lequel : 30 chaque élément memristor est couplé de manière communicante à un élément produisant un champ électromagnétique ; et le procédé comprend en outre l'utilisation des éléments produisant un champ

électromagnétique pour produire des champs électromagnétiques à travers chaque élément memristor.

26. Procédé de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 17-25, comprenant en 5 outre l'utilisation des champs électromagnétiques pour produire une propriété spectrale différente dans chaque élément memristor.

27. Procédé de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 17-26, comprenant en 10 outre l'utilisation du procédé de calcul optique pour interroger un réservoir de fond de puits.

28. Procédé de calcul optique, comprenant : l'interaction optique d'un rayonnement électromagnétique avec un échantillon pour produire une lumière ayant 15 interagi avec l'échantillon ; l'interaction optique de la lumière ayant interagi avec l'échantillon avec un élément memristor pour produire une lumière ayant interagi optiquement qui correspond à une caractéristique de l'échantillon ; et la détermination de la caractéristique 20 de l'échantillon en utilisant la lumière ayant interagi optiquement.

29. Procédé de calcul optique tel que défini dans le paragraphe 28, dans lequel : l'élément memristor comprend un matériau spectralement modifiable ; et le 25 procédé comprend en outre la modification du matériau spectralement modifiable, en modifiant ainsi une propriété spectrale de la lumière ayant interagi optiquement.

30. Procédé de calcul optique tel que défini dans 30 les paragraphes 28 ou 29, dans lequel un champ électromagnétique est produit à travers l'élément

memristor de manière à modifier le matériau spectralement modifiable.

31. Procédé de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 28 à 30, dans lequel des 5 niveaux de puissance différents du champ électromagnétique sont produits à travers l'élément memristor.

32. Procédé de calcul optique tel que défini dans l'un quelconque des paragraphes 28 à 31, comprenant en 10 outre l'utilisation du procédé de calcul optique pour interroger un réservoir de fond de puits.

Bien que divers modes de réalisation et méthodologies aient été présentés et décrits, l'invention n'est pas limitée à ces modes de réalisation et 15 méthodologies et sera considérée comme incluant toutes les modifications et variations qui seront évidentes pour l'homme du métier. Par conséquent, il doit être entendu que l'invention n'est pas censée être limitée aux formes particulières décrites. Au contraire, l'intention est de 20 couvrir toutes les modifications, les équivalents et les variantes rentrant dans l'esprit et la portée de l'invention telle que définie par les revendications jointes.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de calcul optique programmable spectralement, comprenant :

un rayonnement électromagnétique qui interagit 5 optiquement avec un échantillon pour produire une lumière ayant interagi avec l'échantillon ;

un élément memristor comprenant un matériau spectralement modifiable, l'élément memristor étant positionné pour interagir spectralement avec la lumière 10 ayant interagi avec l'échantillon pour produire une lumière ayant interagi optiquement qui correspond à une caractéristique de l'échantillon ;

un champ électromagnétique produit à travers 15 l'élément memristor pour modifier le matériau spectralement modifiable, en modifiant ainsi une propriété spectrale du rayonnement électromagnétique pour produire la lumière ayant interagi optiquement ; et

un détecteur positionné pour mesurer la lumière ayant interagi optiquement et générer un signal, 20 dans lequel le signal est utilisé pour déterminer la caractéristique de l'échantillon.

2. Dispositif de calcul optique selon la revendication 1, comprenant en outre un élément produisant un champ électromagnétique couplé de manière 25 communicante à l'élément memristor pour produire le champ électromagnétique à travers l'élément memristor.

3. Dispositif de calcul optique selon la revendication 2, dans lequel l'élément produisant un 30 champ électromagnétique est une source de courant, une source de tension, une source électromagnétique, une

source magnétique, une source thermique ou une source ionique.

4. Dispositif de calcul optique selon la
5 revendication 2, comprenant en outre un module de gestion
de puissance couplé de manière communicante à l'élément
produisant un champ électromagnétique pour produire ainsi
différents niveaux de puissance.

10 5. Dispositif de calcul optique selon la
revendication 1, dans lequel l'élément memristor comprend
un ou plusieurs pixels memristor.

15 6. Dispositif de calcul optique selon la
revendication 5, dans lequel l'élément memristor est un
réseau d'éléments memristor comprenant une pluralité
d'éléments memristor.

20 7. Dispositif de calcul optique selon la
revendication 6, dans lequel chaque élément memristor est
couplé de manière communicante à un élément produisant un
champ électromagnétique pour produire ainsi le champ
électromagnétique à travers chaque élément memristor.

25 8. Dispositif de calcul optique selon la
revendication 7, dans lequel chaque élément memristor
comprend une propriété spectrale différente produite par
le champ électromagnétique appliqué à travers celui-ci.

30 9. Dispositif de calcul optique selon la
revendication 6, comprenant en outre :

une source de rayonnement électromagnétique pour
générer le rayonnement électromagnétique ; et
un élément de séparation optique positionné pour

séparer le rayonnement électromagnétique en composantes de longueurs d'ondes et pour diriger les composantes de longueurs d'ondes vers un élément memristor correspondant.

5 10. Dispositif de calcul optique selon la revendication 9, dans lequel l'élément de séparation optique est un élément de diffraction ou un élément de fractionnement spectral.

10 11. Dispositif de calcul optique selon la revendication 9, dans lequel chaque élément memristor dans le réseau de memristors correspond à une composante de longueur d'onde différente du rayonnement électromagnétique.

15 12. Dispositif de calcul optique selon la revendication 1, dans lequel l'élément memristor est un réseau d'éléments memristor comprenant une pluralité d'éléments memristor positionnés pour interagir optiquement avec le rayonnement électromagnétique d'une manière séquentielle.

20 13. Dispositif de calcul optique selon la revendication 12, dans lequel chaque élément memristor est couplé de manière communicante à un élément produisant un champ électromagnétique pour produire ainsi le champ électromagnétique à travers chaque élément memristor du réseau d'éléments memristor.

25 14. Dispositif de calcul optique selon la revendication 13, dans lequel chaque élément memristor du réseau d'éléments memristor comprend une propriété

spectrale différente produite par le champ électromagnétique.

15. Dispositif de calcul optique selon la 5 revendication 1, comprenant en outre un processeur de signal couplé de manière communicante au détecteur pour déterminer par calcul la caractéristique de l'échantillon.

10 16. Dispositif de calcul optique selon la revendication 1, dans lequel le dispositif optique comprend une partie d'un dispositif d'interrogation de réservoir.

15 17. Procédé de calcul optique, comprenant : l'interaction optique d'un rayonnement électromagnétique avec un échantillon pour produire une lumière ayant interagi avec l'échantillon ;

20 l'application d'un champ électromagnétique à travers un élément memristor ayant un matériau spectralement modifiable, en modifiant ainsi le matériau spectralement modifiable ;

25 l'interaction optique de la lumière ayant interagi avec l'échantillon avec l'élément memristor pour produire une lumière ayant interagi optiquement qui correspond à une caractéristique de l'échantillon ;

30 la détection de la lumière ayant interagi optiquement et ainsi la génération d'un signal qui correspond à la lumière ayant interagi optiquement ; et la détermination de la caractéristique de l'échantillon en utilisant le signal.

18. Procédé de calcul optique selon la revendication 17, dans lequel un élément produisant un champ électromagnétique est utilisé pour générer le champ électromagnétique appliqué à travers l'élément memristor.

5

19. Procédé de calcul optique selon la revendication 18, dans lequel l'élément produisant un champ électromagnétique est une source de courant, une source de tension, une source électromagnétique, une source magnétique, une source thermique ou une source ionique.

15 20. Procédé de calcul optique selon la revendication 18, comprenant en outre l'utilisation d'un module de gestion de puissance pour produire des niveaux de puissance différents de champs électromagnétiques.

21. Procédé de calcul optique selon la revendication 17, dans lequel :

20 l'élément memristor est un réseau d'éléments memristor comprenant une pluralité d'éléments memristor, chaque élément memristor étant couplé de manière communicante à un élément produisant un champ électromagnétique ; et

25 le procédé comprend en outre l'utilisation des éléments produisant un champ électromagnétique pour produire un champ électromagnétique à travers chaque élément memristor.

30 22. Procédé de calcul optique selon la revendication 21, comprenant en outre la modification d'une propriété spectrale de chaque élément memristor de manière que chaque propriété spectrale soit différente.

23. Procédé de calcul optique selon la revendication 21, comprenant en outre :

la séparation du rayonnement électromagnétique en 5 composantes de longueurs d'ondes ; et

l'acheminement des composantes de longueurs d'ondes vers un élément memristor correspondant.

24. Procédé de calcul optique selon la 10 revendication 17, dans lequel :

l'élément memristor est un réseau d'éléments memristor comprenant une pluralité d'éléments memristor ; et

le procédé comprend en outre l'interaction optique 15 du rayonnement électromagnétique avec les éléments memristor d'une manière séquentielle.

25. Procédé de calcul optique selon la revendication 24, dans lequel :

20 chaque élément memristor est couplé de manière communicante à un élément produisant un champ électromagnétique ; et

le procédé comprend en outre l'utilisation des éléments produisant un champ électromagnétique pour 25 produire des champs électromagnétiques à travers chaque élément memristor.

26. Procédé de calcul optique selon la revendication 25, comprenant en outre l'utilisation des 30 champs électromagnétiques pour produire une propriété spectrale différente dans chaque élément memristor.

27. Procédé de calcul optique selon la revendication 17, comprenant en outre l'utilisation du

procédé de calcul optique pour interroger un réservoir de fond de puits.

28. Procédé de calcul optique, comprenant :

5 l'interaction optique d'un rayonnement électromagnétique avec un échantillon pour produire une lumière ayant interagi avec l'échantillon ;

10 l'interaction optique de la lumière ayant interagi avec l'échantillon avec un élément memristor pour produire une lumière ayant interagi optiquement qui correspond à une caractéristique de l'échantillon ; et

la détermination de la caractéristique de l'échantillon en utilisant la lumière ayant interagi optiquement.

15 29. Procédé de calcul optique selon la revendication 28, dans lequel :

l'élément memristor comprend un matériau spectralement modifiable ; et

20 le procédé comprend en outre la modification du matériau spectralement modifiable, en modifiant ainsi une propriété spectrale de la lumière ayant interagi optiquement.

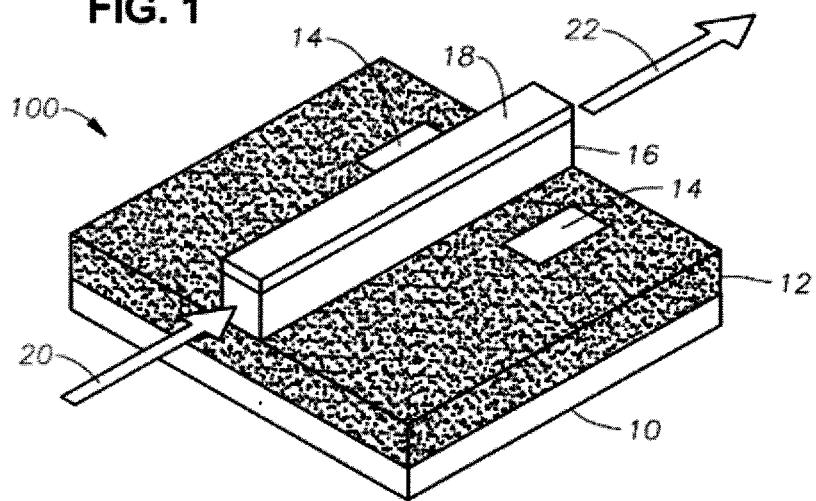
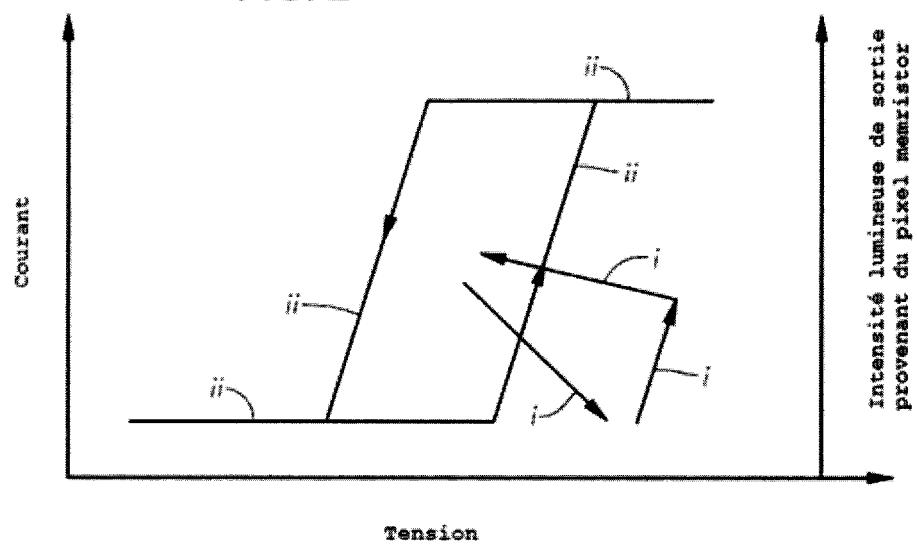
25 30. Procédé de calcul optique selon la revendication 29, dans lequel un champ électromagnétique est produit à travers l'élément memristor de manière à modifier le matériau spectralement modifiable.

30 31. Procédé de calcul optique selon la revendication 30, dans lequel des niveaux de puissance différents du champ électromagnétique sont produits à travers l'élément memristor.

32. Procédé de calcul optique selon la revendication 28, comprenant en outre l'utilisation du procédé de calcul optique pour interroger un réservoir de fond de puits.

Γ

1/4

FIG. 1**FIG. 2**

2/4

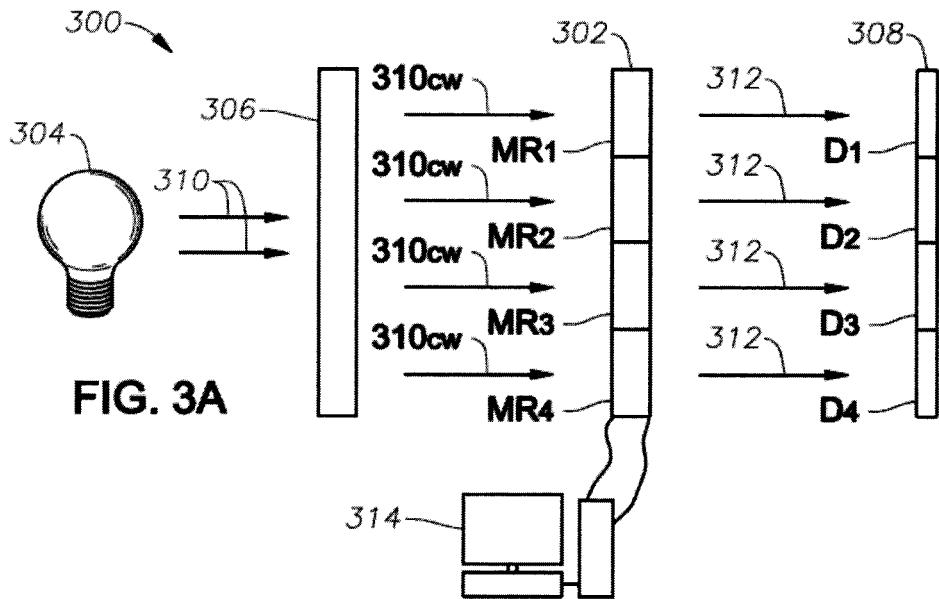


FIG. 3A

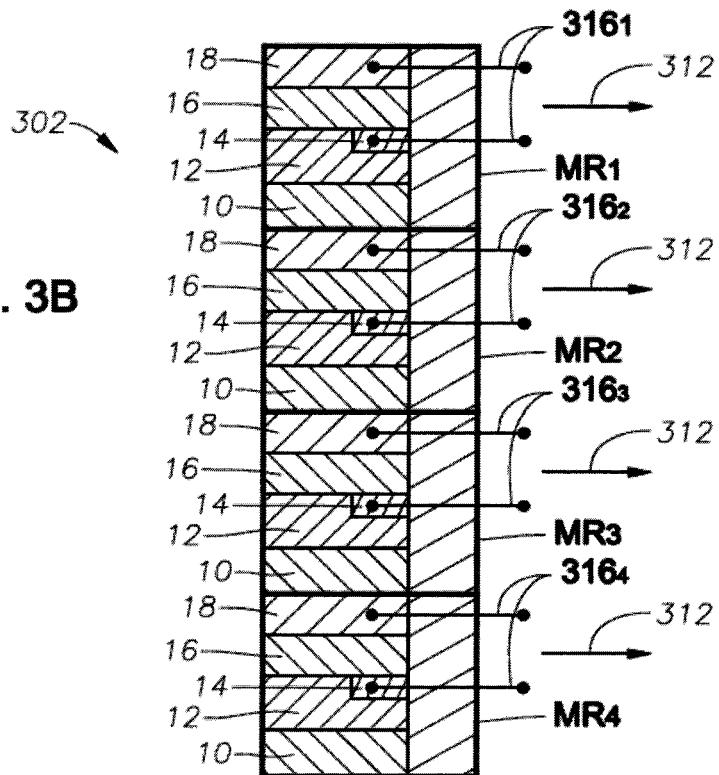


FIG. 3B

3/4

FIG. 4

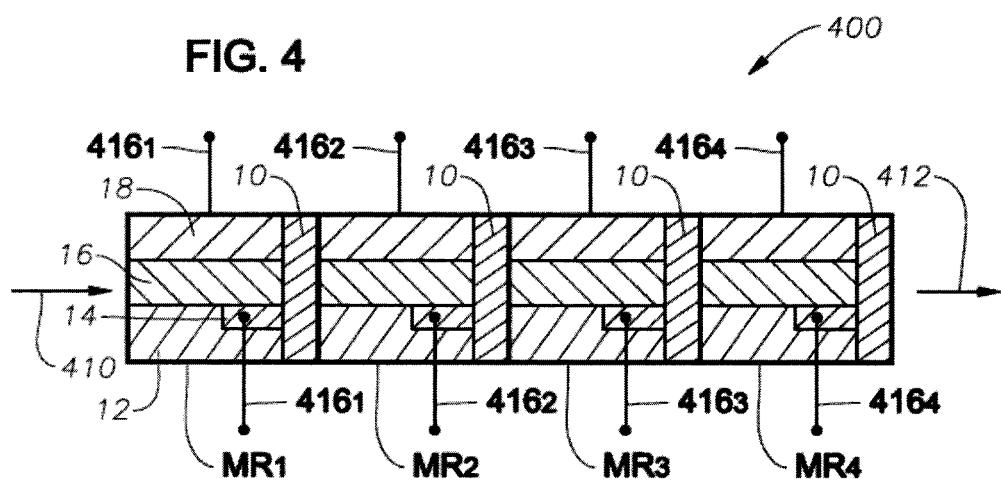
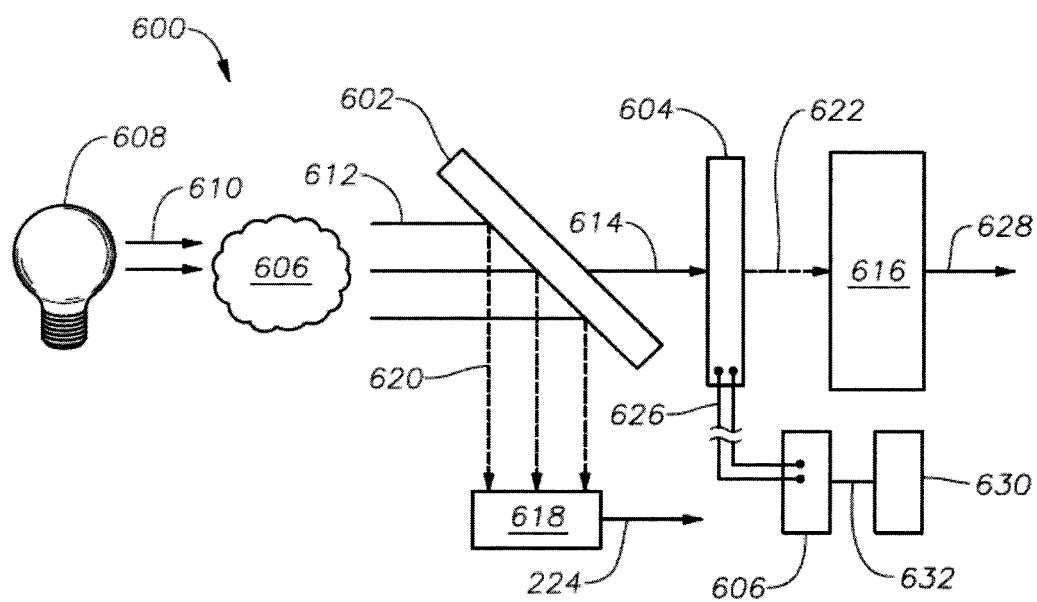


FIG. 6



4/4

FIG. 5