

①⑨ RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
—
**INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE**
—
COURBEVOIE
—

①① N° de publication : **3 087 539**

(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②① N° d'enregistrement national : **18 59653**

⑤① Int Cl⁸ : **G 01 N 21/21 (2019.01), G 02 B 5/00, G 02 B 27/18**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ INSTRUMENT DE MESURE AVEC SYSTEME DE VISUALISATION DU SPOT DE MESURE
ET ACCESSOIRE DE VISUALISATION POUR UN TEL INSTRUMENT DE MESURE.

②② Date de dépôt : 18.10.18.

③⑦ Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public
de la demande : 24.04.20 Bulletin 20/17.

④⑤ Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 20.11.20 Bulletin 20/47.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑦ Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

Demande(s) d'extension :

⑦① Demandeur(s) : *HORIBA FRANCE SAS Société par
actions simplifiée — FR.*

⑦② Inventeur(s) : BAHBAH SOFIANE.

⑦③ Titulaire(s) : *HORIBA FRANCE SAS Société par
actions simplifiée.*

⑦④ Mandataire(s) : *JACOBACCI CORALIS HARLE
Société par actions simplifiée.*

FR 3 087 539 - B1



DOMAINE TECHNIQUE AUQUEL SE RAPPORTE L'INVENTION

La présente invention concerne de manière générale le domaine des instruments de mesure scientifiques destinés à l'analyse ou la mesure d'échantillons par réflexion ou transmission d'un faisceau lumineux.

Elle concerne plus particulièrement les instruments de mesure ou d'analyse de matériaux basés sur les effets de polarisation de la lumière en fonction d'un angle d'incidence variable comme par exemple un polarimètre ou un ellipsomètre ou réflectomètre.

Elle concerne en particulier un système de visualisation d'échantillon pour ellipsomètre ou polarimètre ou un réflectomètre à angle d'incidence variable.

ARRIERE-PLAN TECHNOLOGIQUE

Dans toute la description, les mêmes éléments sont repérés par des signes de référence identiques.

Un ellipsomètre ou un polarimètre est un instrument de mesure qui utilise la lumière polarisée pour mesurer les propriétés diélectriques d'un échantillon isotrope ou anisotrope, afin d'en déduire la structure ou composition physico-chimique. L'application la plus courante d'un ellipsomètre est l'analyse de films très minces tels que des couches sur des plaquettes semi-conductrices ou des substrats en verre. Un ellipsomètre ou un polarimètre peut être utilisé *in situ* pour contrôler le dépôt ou la gravure de couches minces.

La configuration la plus courante pour un ellipsomètre ou un polarimètre est une configuration en réflexion avec un angle d'incidence oblique par rapport à la normale à la surface d'un échantillon à analyser. Toutefois, il existe aussi des ellipsomètres ou polarimètres fonctionnant en transmission avec un angle d'incidence oblique. Il existe aussi des instruments à angle d'incidence variable, qui permettent d'ajuster l'angle d'incidence en fonction de l'échantillon ou de mesurer les propriétés ellipsométriques ou polarimétriques en fonction d'un angle d'incidence variable dans une gamme angulaire déterminée.

La figure 1 représente schématiquement en vue de côté un ellipsomètre tel que divulgué dans le document de brevet WO2008/087217. Cet ellipsomètre comporte une section d'excitation 1 incluant une source de lumière 11 et un dispositif polarisant 14 et une section d'analyse 2 comprenant un analyseur d'état

de polarisation 24 et un système de détection 26 du signal ellipsométrique. Le dispositif polarisant 14 comprend en général un polariseur et/ou un modulateur optique de polarisation. Ainsi, la section d'excitation 1 émet un faisceau lumineux de mesure incident 12 polarisé se propageant suivant un axe optique 13 vers la surface 30 de l'échantillon 3. L'axe optique 13 du faisceau lumineux de mesure incident 12 forme un angle d'incidence, noté AOI, avec la normale 31 à la surface 30 de l'échantillon 3. On a aussi représenté sur la figure 1, un repère orthonormé XYZ, dans lequel l'axe Z est parallèle à la normale 31 et l'axe optique 13 du faisceau lumineux de mesure incident 12 est dans le plan XZ, aussi appelé plan d'incidence.

De façon avantageuse, la section d'excitation 1 comporte un système optique de focalisation 15 pour focaliser le faisceau lumineux de mesure incident 12 en un spot de mesure 32. Le spot de mesure est généralement formé par focalisation de l'image d'un trou source projetée sur la surface de l'échantillon. A partir d'un trou source circulaire, on obtient généralement un spot de mesure de forme elliptique à cause de l'angle d'incidence oblique. La section d'analyse 2 est disposée de manière à recevoir un faisceau lumineux de mesure 22 formé par réflexion (ou par transmission) du faisceau lumineux de mesure incident 12 sur l'échantillon. Dans une configuration en réflexion, le faisceau lumineux de mesure 22 se propage suivant un axe optique 23 formant un angle symétrique, noté -AOI, de l'angle d'incidence avec la normale 31 à l'échantillon. Généralement, la section d'analyse 2 comporte un autre système optique 25 pour former l'image du spot de mesure sur le système de détection 26 du signal ellipsométrique. Le système de détection 26 comporte au moins un détecteur opto-électronique adapté pour recevoir le faisceau lumineux de mesure 22 et enregistrer au moins un signal d'ellipsométrie ou de polarimétrie en fonction de l'état de polarisation du dispositif polarisant 14 et de l'analyseur d'état de polarisation 24. Le détecteur opto-électronique peut être un détecteur monocanal, par exemple un photomultiplicateur (ou PMT) ou un détecteur solide proche infrarouge (NIR), par exemple en InGaAs, ou une barrette linéaire de pixels à une dimension (1D) ou une matrice de pixels à deux dimensions (2D), par exemple une caméra CCD ou CMOS. Dans certains modes de réalisation, le système de détection 26 comporte un monochromateur ou un spectromètre muni d'un détecteur à une dimension (1D) ou à deux dimensions (2D) pour des mesures spectroscopiques. Cet

ellipsomètre comporte en outre un système de visualisation 8 disposé à proximité de la normale 31 à la surface 30 de l'échantillon 3 pour collecter un faisceau lumineux diffusé 19 par l'échantillon. Cependant, un tel système de visualisation 8 ne permet une visualisation du spot de mesure 32 que sur un échantillon diffusant.

5 Or la plupart des échantillons ne sont pas diffusants.

Il est souhaitable de visualiser la position du spot de mesure sur tout type d'échantillon, diffusant ou non diffusant, et notamment dans le cas d'un échantillon non uniforme spatialement, par exemple à motifs. En effet, un spot de petite taille (de 10 micromètres à quelques centaines de microns) est utilisé pour analyser de
10 petites zones de l'échantillon, en particulier de petites zones sur un échantillon comportant des motifs microscopiques, tels qu'un circuit intégré (IC) ou un écran plat (FPD pour flat panel display en terminologie anglaise). Dans de telles applications, il est nécessaire de positionner précisément le spot par rapport à la surface de l'échantillon à motifs pour une analyse correcte. Cependant, la faible
15 intensité de la diffusion du spot de mesure reçue par un système de visualisation 6 disposé suivant la normale à la surface de l'échantillon rend cette tâche de positionnement relativement difficile.

La figure 2 illustre un autre ellipsomètre comprenant un autre système de visualisation tel que divulgué dans le document de brevet WO 2008/087217 A1.
20 Sur les figures 1 et 2, les mêmes signes de référence désignent des éléments analogues ou similaires. Dans l'ellipsomètre de la figure 2, la section d'excitation 1 comporte en outre une source d'éclairage auxiliaire 16 émettant un faisceau de visualisation 18 et une lame semi-transparente 17 qui combine le faisceau de visualisation 18 au faisceau lumineux de mesure incident 12 polarisé de manière à
25 ce qu'ils se propagent le long du même axe optique 13. Le faisceau de visualisation 18 éclaire une zone 38 autour du spot de mesure 32, la zone éclairée 38 étant plus étendue que le spot de mesure 32. Par réflexion ou transmission du faisceau de visualisation 18 sur l'échantillon, on obtient un faisceau de visualisation réfléchi 21 (ou transmis) se propageant suivant le même axe optique
30 23 que le faisceau lumineux de mesure réfléchi 22 (ou transmis) en direction de la section d'analyse 2. D'autre part, la section d'analyse 2 comprend un séparateur optique de faisceau 27, généralement un miroir escamotable, adapté pour transmettre simultanément une partie 121 du faisceau lumineux de visualisation réfléchi 21 et une partie 122 du faisceau de mesure réfléchi ou transmis 22 en

direction d'un dispositif de visualisation 123, comprenant par exemple un oculaire ou une caméra. Dans l'exemple de la figure 2, la section d'analyse 2 comprend une ouverture 120 pour le passage des faisceaux 121, 122 vers le dispositif de visualisation. Un tel système de visualisation permet de visualiser simultanément
5 sur une même image le spot de mesure 32 et la zone 38 éclairée par le faisceau de visualisation 18 sur un échantillon, quel que soit l'angle d'incidence. De plus, l'image du spot de mesure reste visible même sur un échantillon non diffusant.

Cependant, dans le cas où on utilise une caméra 123 pour former l'image de l'échantillon et du spot de mesure, l'image est généralement déformée
10 (floue) du fait d'un angle entre la surface de l'échantillon et un plan optiquement conjugué avec le plan de la caméra. De plus, la superposition du trajet optique du faisceau d'éclairage lumineux de visualisation avec celui du faisceau lumineux de mesure est susceptible de perturber la mesure ellipsométrique, si bien que la visualisation et la mesure sont généralement effectuées séquentiellement et non
15 simultanément.

Il est souhaitable de proposer un système de visualisation pour instrument de mesure basé sur un faisceau lumineux incident oblique, de type ellipsomètre ou polarimètre ou réflectomètre, en particulier à angle d'incidence variable, qui permette de visualiser en temps réel durant la mesure ellipsométrique
20 ou polarimétrique ou réflectométrique et avec netteté sur tout le champ de vision : un spot incident sur un échantillon et la surface de l'échantillon autour du spot de mesure, que la surface de l'échantillon soit diffusante ou non-diffusante. Il est souhaitable de proposer un système de visualisation pour ellipsomètre ou polarimètre ou réflectomètre qui permette un positionnement précis du spot de
25 mesure par rapport à un motif en surface de l'échantillon. En particulier, il est souhaitable de proposer un système de visualisation pour ellipsomètre permettant de visualiser avec netteté le spot de mesure et la surface de l'échantillon autour du spot de mesure quel que soit n'angle d'incidence, ce système de visualisation pouvant être opérationnel simultanément avec des mesures d'ellipsométrie sans
30 perturber des mesures d'ellipsométrie.

Par ailleurs, dans la plupart des systèmes de visualisation antérieurs, lorsque l'échantillon est transparent, par exemple sur un substrat mince de verre à faces planes et parallèles, on observe des réflexions multiples, formant au moins deux spots, par réflexion entre la face avant et la face arrière du substrat. Il est

parfois difficile de différencier le spot utile à la mesure du ou des spots parasites issus de réflexions multiples. Ces réflexions multiples peuvent donc être gênantes pour positionner précisément le spot de mesure sur un échantillon.

5 Il est donc souhaitable de proposer un système de visualisation pour instrument de mesure basé sur un faisceau lumineux incident oblique, de type ellipsomètre ou polarimètre ou réflectomètre, permettant de visualiser un spot incident sur un échantillon tout en discriminant les autres spots formés par réflexions multiples.

10 Enfin, il est souhaitable de mettre à niveau un ancien ellipsomètre ou polarimètre ou réflectomètre pour y intégrer un système de visualisation permettant d'améliorer à la fois la visualisation du spot de mesure et de la surface de l'échantillon autour du spot de mesure.

OBJET DE L'INVENTION

15 Afin de remédier aux inconvénients précités de l'état de la technique, la présente invention propose un instrument de mesure comportant une section d'excitation et une section d'analyse, la section d'excitation incluant une première source de lumière adaptée pour émettre un faisceau lumineux incident destiné à former un spot de mesure sur un échantillon sous un angle d'incidence oblique, la section d'analyse étant disposée pour recevoir un faisceau lumineux de mesure
20 formé par réflexion ou transmission du faisceau lumineux incident sur l'échantillon, la section d'analyse comprenant un système de détection adapté pour détecter une partie du faisceau lumineux de mesure.

Plus particulièrement, on propose selon l'invention un instrument de mesure dans lequel la section d'analyse comporte un premier séparateur optique
25 de faisceau et un premier système d'imagerie, le premier séparateur optique de faisceau étant disposé sur un trajet optique du faisceau lumineux de mesure et apte à transmettre une autre partie du faisceau lumineux de mesure vers le premier système d'imagerie, le premier système d'imagerie étant adapté pour acquérir une première image d'une première zone de l'échantillon autour du spot
30 de mesure, l'instrument de mesure comportant en outre une deuxième source de lumière disposée de manière à émettre un faisceau d'illumination destiné à éclairer sous incidence quasi-normale une deuxième zone de l'échantillon autour du spot de mesure, un deuxième système d'imagerie disposé de manière à recevoir un faisceau lumineux d'imagerie formé par réflexion du faisceau

d'illumination sur la deuxième zone de l'échantillon et acquérir une deuxième image de la deuxième zone de l'échantillon et un système de traitement d'image adapté pour recevoir la première image et la deuxième image, le système de traitement d'image étant adapté pour extraire une image du spot de mesure de la première image et pour former une troisième image comprenant une projection de l'image du spot de mesure, la projection étant redimensionnée en fonction de l'angle d'incidence du faisceau lumineux incident et ladite projection étant positionnée et disposée en superposition ou en incrustation dans la deuxième image de la deuxième zone de l'échantillon.

10 Le faisceau d'illumination sous incidence normale procure un éclairage uniforme de la surface de l'échantillon. La formation d'image à partir d'un faisceau réfléchi sous incidence normale réduit les distorsions de l'image de l'échantillon via le deuxième système d'imagerie car l'échantillon se trouve ainsi dans un plan optiquement conjugué du deuxième système d'imagerie. La combinaison de cet

15 éclairage uniforme et de la formation d'image de l'échantillon sans distorsion contribue à améliorer grandement la qualité de l'image de l'échantillon dans toute la zone que l'on souhaite visualiser autour du spot de mesure, quel que soit le type d'échantillon, diffusant ou non-diffusant, avec ou sans motif (pattern) et indépendamment de l'angle d'incidence de la mesure d'ellipsométrie ou de

20 polarimétrie. De plus, le traitement d'image et la réunion de la première image et de la deuxième image en une seule image, la troisième image, permet une visualisation nette et précise de la position et de l'étendue du spot de mesure sur la surface de l'échantillon, en fonction de l'angle d'incidence du faisceau de mesure sur l'échantillon.

25 L'invention permet ainsi de visualiser un spot incident de mesure ellipsométrique ou polarimétrique ou réflectométrique sur un échantillon, y compris sur un échantillon non diffusant. L'invention procure simultanément une image nette et sans déformation d'une zone de l'échantillon autour du spot de mesure, quel que soit l'angle d'incidence. Le système de visualisation rend l'utilisation d'un

30 instrument de mesure plus aisée, la visualisation pouvant être actualisée en temps réel et effectuée pendant une mesure. De plus, le traitement d'image peut être automatisé pour des applications industrielles.

D'autres caractéristiques non limitatives et avantageuses de l'instrument de mesure conforme à l'invention, prises individuellement ou selon toutes les

combinaisons techniquement possibles, sont les suivantes :

- 5 - l'instrument de mesure comporte en outre un deuxième séparateur optique de faisceau disposé de manière à recevoir le faisceau d'illumination de la deuxième source de lumière et à diriger le faisceau d'illumination vers l'échantillon, et le deuxième séparateur optique de faisceau étant adapté pour recevoir le faisceau lumineux d'imagerie et à le diriger vers le deuxième système d'imagerie ;
- 10 - l'instrument de mesure comporte au moins un dispositif optique polarisant disposé sur un chemin optique du faisceau d'illumination et/ou du faisceau lumineux d'imagerie ;
- le deuxième système d'imagerie comporte une caméra, un objectif et un filtre spatial disposé dans un plan focal objet de l'objectif, le filtre spatial étant adapté pour réduire les aberrations optiques sur la deuxième image ;
- 15 - le système de traitement d'image comporte un sous-système de reconnaissance d'image adapté pour délimiter un contour de l'image du spot de mesure dans la première image et/ou pour déterminer une première position et une première orientation de la première zone de l'échantillon dans la première image et/ou, respectivement pour déterminer une deuxième position et une deuxième orientation de la deuxième zone de l'échantillon dans la deuxième image ;
- 20 - le sous-système de reconnaissance d'image est adapté pour reconnaître automatiquement au moins un motif dans la deuxième image ;
- le sous-système de reconnaissance d'image est adapté pour reconnaître et sélectionner l'image du spot de mesure parmi une pluralité d'images formées par réflexion multiples entre deux faces de l'échantillon ;
- 25 - l'instrument de mesure comporte en outre un troisième séparateur optique de faisceau et un autre système de détection, le troisième séparateur optique de faisceau étant disposé sur l'axe optique du faisceau d'illumination, le troisième séparateur optique de faisceau étant adapté pour transmettre une portion du faisceau lumineux formé par réflexion du faisceau d'illumination sur la deuxième zone de l'échantillon vers l'autre système de détection, l'autre système de détection étant adapté pour fournir un signal représentatif d'un angle entre la normale à la surface de l'échantillon et un axe optique du faisceau d'illumination ;
- 30 - l'instrument de mesure comporte un porte-échantillon muni d'un

système d'actionneur adapté pour modifier au moins un angle d'inclinaison du porte-échantillon transversalement à la normale à la surface de l'échantillon et un système électronique adapté pour recevoir le signal représentatif de l'angle entre la normale à la surface de l'échantillon et l'axe optique du faisceau d'illumination
5 (42) et pour appliquer une commande sur le système d'actionneur ;

- la section d'analyse comprend un analyseur d'état de polarisation disposé sur un trajet optique du faisceau lumineux de mesure et le système de détection est adapté pour détecter un signal d'ellipsométrie ou de polarimétrie.

L'invention propose également un accessoire de visualisation pour
10 instrument de mesure basé sur l'émission d'un faisceau lumineux incident destiné à former un spot de mesure sur un échantillon sous un angle d'incidence oblique et la détection d'un faisceau lumineux de mesure formé par réflexion ou transmission du faisceau lumineux incident sur l'échantillon, l'instrument de mesure comprenant premier système d'imagerie adapté pour générer une
15 première image d'une première zone de l'échantillon autour du spot de mesure, la première image étant formée par réflexion ou transmission du faisceau lumineux incident sur l'échantillon.

Selon l'invention, l'accessoire de visualisation comprend une deuxième source de lumière et un deuxième système d'imagerie, la deuxième source de
20 lumière étant disposée de manière à émettre un faisceau d'illumination destiné à éclairer sous incidence quasi-normale une deuxième zone de l'échantillon autour du spot de mesure, le deuxième système d'imagerie étant disposé de manière à former une deuxième image de la deuxième zone de l'échantillon par réflexion du faisceau d'illumination sur la deuxième zone de l'échantillon et un système de
25 traitement d'image adapté pour recevoir la première image et la deuxième image, le système de traitement d'image étant adapté pour extraire une image du spot de mesure de la première image et pour former une troisième image comprenant une projection de l'image du spot de mesure en superposition ou en incrustation avec la deuxième image de l'échantillon, la projection étant redimensionnée en fonction
30 de l'angle d'incidence du faisceau lumineux incident.

Selon un aspect particulier et avantageux, l'accessoire de visualisation comprend un troisième séparateur optique de faisceau et un autre système de détection, le troisième séparateur optique de faisceau étant disposé sur l'axe optique du faisceau d'illumination, le troisième séparateur optique de faisceau

étant adapté pour transmettre une portion du faisceau lumineux formé par réflexion du faisceau d'illumination sur la deuxième zone de l'échantillon vers l'autre système de détection, l'autre système de détection étant adapté pour fournir un signal représentatif d'un angle entre la normale à la surface de l'échantillon et un axe optique du faisceau d'illumination.

DESCRIPTION DETAILLEE D'UN EXEMPLE DE REALISATION

La description qui va suivre en regard des dessins annexés, donnés à titre d'exemples non limitatifs, fera bien comprendre en quoi consiste l'invention et comment elle peut être réalisée.

10 Sur les dessins annexés :

- la figure 1 représente schématiquement en vue de côté un ellipsomètre muni d'un premier système de visualisation selon l'art antérieur ;

- la figure 2 représente schématiquement en vue de côté un autre ellipsomètre muni d'un autre système de visualisation selon l'art antérieur ;

15 - la figure 3 illustre une image de visualisation d'un échantillon et d'un spot de mesure obtenu avec un système de visualisation selon le principe illustré en figure 2 ;

- la figure 4 représente schématiquement en vue de côté un ellipsomètre selon un mode de réalisation ;

20 - la figure 5 illustre un exemple d'une première image de spot de mesure obtenue sous incidence oblique avec un premier système d'imagerie disposé dans la section d'analyse de l'ellipsomètre ;

25 - la figure 6 illustre un exemple d'une deuxième image de la surface de l'échantillon obtenue avec un deuxième système d'imagerie disposé en incidence normale;

- la figure 7 illustre une étape de traitement d'image appliquée à la première image (obtenue en figure 5) pour en extraire une image du spot de mesure ;

- la figure 8 représente l'image du spot de mesure extraite de la figure 7 ;

30 - la figure 9 illustre une autre étape de traitement d'image appliquée à l'image du spot de mesure de la figure 8 pour découper la surface utile, de l'image, où se focalise le spot de mesure ;

- la figure 10 illustre une étape de projection et/ou de mise à l'échelle appliquée à l'image du contour du spot de mesure de la figure 9 pour en déduire

une projection de l'image du spot de mesure ;

- la figure 11 illustre un exemple d'une troisième image obtenue par superposition ou incrustation ou greffe de la projection de l'image du spot de mesure (illustrée en fig. 10) avec la deuxième image de la surface de l'échantillon en incidence normale ;

- la figure 12 représente schématiquement un sous-ensemble d'imagerie en incidence normale selon une variante de la présente divulgation ;

- la figure 13 représente schématiquement en vue en perspective d'un ellipsomètre à angle d'incidence variable monté sur un goniomètre, selon un mode de réalisation particulier.

Dispositif

Dans le présent document, on entend par incidence normale ou quasi-normale un angle d'incidence inférieur ou égal à 5 degrés, et de préférence inférieur à 1 degré ou nul par rapport à la normale à la surface de l'échantillon à l'endroit du spot de mesure. On entend par incidence oblique, un angle d'incidence supérieur ou égal à 5 degrés et de préférence compris entre 10 degrés et 90 degrés par rapport à la normale à la surface de l'échantillon.

La figure 3 illustre un exemple d'image de visualisation d'un échantillon et d'un spot de mesure obtenue par un système de visualisation d'un ellipsomètre tel qu'illustré en figure 2 avec un angle d'incidence d'environ 70 degrés. On observe bien l'image du spot de mesure 32 sur l'échantillon. L'échantillon comporte ici des motifs 39 de dimensions variables. Toutefois, en se déplaçant dans l'image suivant l'axe X, on constate que l'image est généralement déformée (floue) en dehors d'une zone réduite. L'étendue de la zone de netteté dépend fortement de l'angle d'incidence et du système optique d'imagerie utilisé. La qualité de l'image de l'échantillon est dégradée par manque de netteté sur une grande partie de l'image à cause de l'angle d'incidence de 70 degrés. Cette faible qualité de l'image de visualisation rend difficile le positionnement du spot de mesure par rapport aux motifs de l'échantillon. De plus, il est difficile d'évaluer les dimensions réelles du spot de mesure à partir d'une telle image. Ainsi, le spot de mesure 32 est visualisé par la caméra sous une forme à peu près circulaire dans l'axe optique de visualisation (cf fig. 3), alors que sa forme réelle sur l'échantillon est elliptique avec une forte ellipticité.

Sur la figure 4, on a représenté schématiquement un ellipsomètre 100

selon un mode de réalisation de la présente divulgation.

L'ellipsomètre 100 comporte une section d'excitation 1 et une section d'analyse 2.

La section d'excitation 1 comprend une première source de lumière 11
5 adaptée pour émettre un faisceau lumineux incident 12 se propageant suivant un
axe optique 13. La première source de lumière 11 peut être un laser ou une LED
pour des mesures monochromatiques ou une diode multi-longueur d'onde pour
des mesures polychromatiques ou toute autre source de lumière blanche
conventionnelle, fibrée ou lampe pompée par diodes lasers pour des mesures
10 spectroscopiques. La section d'excitation 1 comprend un dispositif polarisant 14.
De préférence, la section d'excitation 1 comprend un système optique de
focalisation 15 à lentilles ou miroirs sphériques pour focaliser le faisceau lumineux
de mesure incident 12 en un spot de mesure 32. L'angle d'incidence (AOI) oblique
est généralement compris entre 10 degrés et 90 degrés. On note que la section
15 d'excitation 1 ne comporte pas de source d'éclairage auxiliaire, contrairement au
système décrit en lien avec la figure 2.

La section d'analyse 2 est disposée pour recevoir le faisceau lumineux
de mesure 22 formé par réflexion (ou transmission) du faisceau lumineux incident
12 sur l'échantillon 3. La section d'analyse 2 comporte en outre un séparateur
20 optique de faisceau 27 disposé entre le système de détection 26 du signal
ellipsométrique et un premier système d'imagerie 28. Le premier système
d'imagerie 28 comprend un détecteur d'image 29, par exemple une caméra à
matrice de pixels. Le détecteur d'image 29 est par exemple une caméra Videology
24C1.35USB ayant 1280 x 1024 pixels, connectée par câble USB 2.0 à une carte
25 USB de l'ordinateur de contrôle. Le séparateur optique de faisceau 27 est choisi
parmi une lame de verre ou lame UV sans traitement ou lame semi-transparente
avec revêtements diélectriques ou lame séparatrice (polarisée ou non) ou lame
séparatrice Polka-Dot ou cube séparateur (de polarisation ou non) ou prismes ou
polariseur ou filtre (par exemple séparateur en longueur d'onde) ou un miroir
30 escamotable. Le séparateur optique de faisceau 27 est adapté pour transmettre
une partie 222 du faisceau de mesure réfléchi ou transmis en direction du premier
système d'imagerie 28 et simultanément une autre partie 224 du faisceau de
mesure réfléchi ou transmis en direction du système de détection 26 du signal
ellipsométrique.

Le détecteur d'image 29 du premier système d'imagerie 28 acquiert ainsi une première image 51 du spot de mesure 32 sur l'échantillon quel que soit l'angle d'incidence du faisceau lumineux de mesure sur l'échantillon. Simultanément, le système de détection 26 peut détecter l'autre partie 224 du faisceau de mesure
5 réfléchi ou transmis et enregistrer un signal ellipsométrique correspondant à ce spot de mesure 32.

L'ellipsomètre de la présente divulgation comporte en outre un sous-ensemble d'imagerie 4 sous incidence normale. Ce sous-ensemble d'imagerie 4 comporte une deuxième source de lumière 41 ou source auxiliaire, un deuxième
10 séparateur optique de faisceau 43 et un deuxième système d'imagerie 46. La deuxième source de lumière 41 est par exemple une diode électro-luminescente (ou LED) blanche ou lampe conventionnelle ou source fibrée ou lampe pompée pas diode laser. De façon avantageuse, le deuxième système d'imagerie 46 comprend un détecteur d'image, par exemple une caméra CCD. La deuxième
15 source de lumière 41 ou source auxiliaire émet un faisceau d'illumination 42. De façon avantageuse, un système optique 48 est disposé devant la source auxiliaire 41 de manière à collimater le faisceau d'illumination 42. Par exemple, la source auxiliaire 41 est une LED et le système optique 48 est constitué d'une lentille asphérique ou un collimateur adapté pour former le faisceau d'illumination 42
20 collimaté. Le deuxième séparateur optique de faisceau 43 est choisi parmi les composants optiques suivants : lame semi-transparente ou lame séparatrice avec revêtement diélectrique (polarisé ou non) ou lame séparatrice Polka-Dot ou cube séparateur (polarisé ou non) ou prismes ou polariseur ou filtre. Le deuxième séparateur optique de faisceau 43 dirige le faisceau d'illumination 42 vers une
25 zone de l'échantillon autour du spot de mesure 32 suivant un axe optique de préférence aligné sur la normale 31 à la surface de l'échantillon. Ainsi, le faisceau d'illumination 42 éclaire sous incidence normale (ou quasi-normale) une deuxième zone 34 de l'échantillon autour du spot de mesure 32. Un faisceau lumineux d'imagerie 44 se forme par réflexion du faisceau d'illumination 42 sur l'échantillon.
30 Le faisceau lumineux d'imagerie 44 se propage suivant la normale 31 à la surface de l'échantillon en direction opposée du faisceau d'illumination 42. Le deuxième séparateur optique de faisceau 43 dirige le faisceau lumineux d'imagerie 44 vers le deuxième système d'imagerie 46. Un système optique à plusieurs lentilles ou un objectif de caméra 45 forme l'image de la deuxième zone 34 de l'échantillon sur la

caméra du deuxième système d'imagerie 46. La caméra du deuxième système d'imagerie 46 est par exemple une caméra couleur Videology 24C1.35USB comprenant 1280 x 2014 pixels et reliée par câble USB 2.0 à une autre carte USB de l'ordinateur de contrôle. La caméra du deuxième système d'imagerie 46
 5 acquiert ainsi une deuxième image 52 d'au moins une partie de la deuxième zone 34 autour du spot de mesure d'ellipsométrie sous incidence normale.

On obtient ainsi une deuxième image 52 nette sur tout le champ de la caméra et sans distorsion de la zone éclairée par le faisceau d'illumination 42 autour du spot de mesure d'ellipsométrie. Cependant, le spot de mesure
 10 n'apparaît généralement pas dans la deuxième image 52 sauf si l'échantillon est suffisamment diffusant. Ainsi, le deuxième système d'imagerie 46 n'est en général pas gêné par la réflexion ou la diffusion du faisceau lumineux de mesure incident 12.

Le faisceau d'illumination 42 et le deuxième faisceau d'imagerie 44 se
 15 propagent suivant la normale à l'échantillon et pas suivant l'axe optique oblique du faisceau lumineux de mesure incident ou réfléchi. Par conséquent, le faisceau d'illumination 42 et le deuxième faisceau d'imagerie 44 n'affectent nullement les mesures d'ellipsométrie acquises via le système de détection 26 du signal ellipsométrique.

On dispose ainsi de deux images séparées : d'une part la première
 20 image 51 du spot de mesure sous incidence oblique et d'autre part la deuxième image 52 de la deuxième zone 34 autour du spot de mesure d'ellipsométrie sous incidence normale. Ces deux images 51 et 52 sont acquises au moyen de systèmes optiques et de caméras séparés et présentent généralement un
 25 grandissement différent l'une de l'autre.

La figure 5 illustre un exemple de première image 51 acquise sur un échantillon réfléchissant en configuration de réflexion avec un angle d'incidence de 70 degrés. Les dimensions du spot de mesure sur l'échantillon sont approximativement de 1,2 mm de diamètre non projeté de forme circulaire (et de
 30 1,2 mm x 3,5 mm projeté à 70 degrés de forme ovale). On mesure les dimensions du spot sur un échantillon gradué ou une mire.

Sur la figure 5, on observe un deuxième spot 37 formé par réflexion du faisceau lumineux de mesure sur la face arrière de la lame séparatrice 27. Par contre, la première image 51 ne permet pas de visualiser les motifs en surface de

l'échantillon.

La figure 6 illustre un exemple de deuxième image 52 acquise sous incidence normale sur l'échantillon 3 dans la deuxième zone 34 autour du spot de mesure d'ellipsométrie. Les dimensions de la deuxième zone 34 imagée sur l'image 52 de la figure 6 sont approximativement de 4,2 mm x 5,5 mm. Sur la figure 6, on observe les motifs en surface de l'échantillon avec une excellente netteté sur toute la zone imagée. Cependant, la figure 6 ne permet pas de visualiser la position ni les dimensions du spot de mesure ellipsométrique.

Revenons à la figure 4. L'ellipsomètre 100 comporte en outre un système de traitement d'image 5. Le système de traitement d'image 5 est relié par une première liaison 53 au premier système d'imagerie 28 et par une deuxième liaison 54 à la caméra du deuxième système d'imagerie 46. Le système de traitement d'image 5 reçoit en temps réel la première image 51 du spot de mesure d'ellipsométrie et la deuxième image 52 de la deuxième zone 34 autour du spot de mesure.

Le système de traitement d'image 5 est adapté pour traiter la première image 51.

La figure 7 illustre une première étape de traitement d'image dans laquelle, le système de traitement d'image 5 est adapté pour déterminer et extraire une portion 55 de la première image 51 autour du spot de mesure 32. Les dimensions de la portion 55 dépendent de la taille du spot de mesure. La portion 55 correspond à la surface centrale du champ de la caméra où le spot 32 doit être localisé. A titre d'exemple, la portion 55 représente une surface rectangulaire correspondant à environ $N_x = 400 \pm 100$ pixels horizontalement par $N_y = 265 \pm 75$ pixels verticalement.

La figure 8 représente schématiquement la portion 55 d'image du spot de mesure extraite de la figure 7. L'image du spot apparaît ici quasi circulaire.

La figure 9 illustre une autre étape de traitement d'image appliquée à l'image du spot de mesure de la figure 8 pour en prélever une image du contour 56 du spot de mesure. Par exemple, on change la couleur de l'image 55 en remplaçant la couleur de chaque pixel noir par un pixel transparent sauf pour les pixels à haute intensité supérieur à 1 qui correspondent à la forme du spot de mesure et qui sont inchangés. De façon alternative, l'homme du métier dispose d'autres techniques de traitement d'image pour déterminer l'image du contour 56

du spot de mesure.

La figure 10 illustre une autre étape de grandissement et de projection appliquée à l'image du contour 56 du spot de mesure de la figure 9 pour en déduire une projection 57 de l'image du spot de mesure. Le grandissement appliqué correspond à l'agrandissement du système optique entre la taille réelle du spot de mesure sur l'échantillon et la dimension du spot sur le capteur de la caméra 28. A titre d'exemple, pour un ellipsomètre Uvisel Plus le facteur de grandissement appliqué est de 1,54. Le facteur de grandissement peut être calibré expérimentalement.

Selon l'orientation relative des deux caméras par rapport aux axes d'orientation de l'échantillon, il peut être nécessaire d'effectuer une rotation de l'image du spot, par exemple de 90 degrés.

Un coefficient de projection est ensuite appliqué dans la direction X uniquement de manière à effectuer une projection du spot de mesure dans le plan de l'échantillon. Le coefficient de projection appliqué est calculé en fonction de l'angle d'incidence du faisceau de mesure sur l'échantillon. Ce coefficient de projection est calculé selon la formule géométrique $X = x (1/\cos(\text{AOI}))$. Pour un angle d'incidence de 70 degrés, le coefficient de projection est d'environ 2,92. Autrement dit, l'image du spot est agrandie du coefficient de projection 2.92 uniquement suivant l'axe de projection, par exemple ici l'axe X.

La projection 57 de l'image du spot de mesure correspond au spot de mesure tel qu'il apparaîtrait dans la deuxième image 52 si l'échantillon était diffusant. Ainsi, le spot 32 qui apparaît sur la caméra 29 de forme circulaire, retrouve sa forme réelle elliptique après étirement de l'image.

Enfin, le système de traitement d'image 5 combine la projection 57 de l'image du spot de mesure avec la deuxième image 52 de la deuxième zone 34 autour du spot de mesure pour former une troisième image 58. A titre d'exemple non limitatif, la combinaison des images peut être basée sur une étape de superposition ou d'incrustation de la projection 57 de l'image du spot de mesure sur ou dans la deuxième image 52 de la surface de l'échantillon en incidence normale. La position en XY de la projection dans la 2ème image peut être calibrée ou ajustée au préalable par exemple sur un échantillon diffusant de même épaisseur. Plus précisément, on note la position du centre de l'image du spot de mesure et son étendue ΔX , ΔY dans les directions X, Y par rapport à un pixel de

référence (0, 0) de l'image échantillon. Il est possible de calibrer la position en XY du centre du spot de mesure sur l'échantillon pour différentes valeurs de l'angle d'incidence, par exemple de 45 degrés à 80 degrés, par pas de 5 degrés. On enregistre dans un tableau la position du centre de l'image du spot de mesure et son étendue ΔX , ΔY dans les directions X, Y pour différentes valeurs de l'angle d'incidence. Un polynôme d'ordre deux permet de déterminer par interpolation la position du centre de l'image du spot de mesure et son étendue ΔX , ΔY pour les valeurs d'angle d'incidence intermédiaires.

La figure 11 illustre un exemple d'une troisième image 58 obtenue par superposition ou incrustation de la projection de l'image du spot de mesure (illustrée en fig. 10) avec la deuxième image de la surface de l'échantillon en incidence normale.

Cette troisième image 58 est affichée sur un écran de visualisation. L'utilisateur obtient ainsi une troisième image 58 qui permet de visualiser simultanément et avec une grande netteté les motifs en surface de l'échantillon dans une zone autour du spot de mesure et les contours du spot de mesure projeté sur la surface de l'échantillon. L'affichage de la troisième image peut être très rapide, par exemple moins de 1 seconde après l'acquisition et le traitement de la première image 51 et de la deuxième image 52.

La projection 57 de l'image du spot de mesure correspond au spot de mesure tel qu'il apparaîtrait dans la deuxième image 52 si l'échantillon était diffusant.

Les images 51, 52 et 58 peuvent être rafraîchies en temps réel.

Ce système permet de positionner précisément le spot de mesure par rapport aux motifs en surface de l'échantillon, par exemple en déplaçant le porte-échantillon dans le plan XY, sans gêner les mesures d'ellipsométrie.

Ce système permet de visualiser la position, la forme et les dimensions réelles du spot de mesure sur la surface de l'échantillon. En particulier, lorsqu'on utilise un ellipsomètre dit multispot dans lequel les dimensions du spot de mesure sont variables, par exemple à partir d'un diaphragme source formant un spot de dimension transverse allant de 10 μm à quelques centaines de μm , le système permet à l'utilisateur de visualiser directement et de reconnaître le spot utilisé. De plus, un utilisateur expérimenté peut évaluer approximativement et contrôler l'angle d'incidence en fonction de l'ellipticité apparente du spot de mesure projeté.

De façon optionnelle, le système de traitement d'image peut comporter un module de reconnaissance d'image ou de motifs (pattern recognition) pour identifier et localiser le(s) motif(s) où l'on souhaite positionner le spot de mesure d'ellipsométrie ou encore effectuer un ajustement autofocus sur la netteté de l'image du motif. De cette manière, il est possible de programmer des mesures d'ellipsométrie sur un type de motif prédéterminé et de réaliser le positionnement du spot de mesure de manière automatique sur le motif sélectionné. Une application concerne l'analyse de plaques de semiconducteur ou d'écran plats, dans laquelle des motifs sont répétés sur la surface du même substrat. Des mesures automatiques avec détection du motif recherché, positionnement du spot de mesure sur le motif concerné et acquisition de la mesure peuvent ainsi être réalisées.

La figure 12 représente schématiquement différents aspects particuliers du sous-ensemble d'imagerie 4.

Plus particulièrement, selon une option, le sous-ensemble d'imagerie 4 comporte un filtre spatial 47 disposé dans le plan de Fourier de l'objectif 45 de la caméra 46. Le filtre spatial 47 comporte par exemple un trou sténopéique pour réduire les aberrations optiques géométriques sur la deuxième image 52. Le sous-ensemble d'imagerie 4 peut aussi comporter un miroir plan 40 de repli. De façon avantageuse, un filtre proche-infrarouge 49 est disposé devant la caméra 46 pour éliminer les aberrations optiques des longueurs d'onde NIR détectées par la caméra.

Sur la figure 12, selon un autre aspect particulier et optionnel, le sous-ensemble d'imagerie 4 comporte en outre un troisième séparateur optique de faisceau 61 disposé sur l'axe optique du faisceau d'illumination 42 et un autre système de détection 64. Le troisième séparateur optique de faisceau est choisi parmi les composants suivants : lame de verre ou lame séparatrice ou semi avec revêtements diélectriques ou lame Polka-Dot ou filtre ou cube séparateur. Le troisième séparateur optique de faisceau est adapté pour transmettre une portion 65 du faisceau lumineux formé par réflexion du faisceau d'illumination 42 sur la deuxième zone de l'échantillon vers l'autre système de détection 64. L'autre système de détection 64 comprend par exemple un détecteur de position à quatre quadrants. Dans l'exemple illustré en figure 12, un diaphragme 62 et un système optique 63 sont disposés entre le troisième séparateur optique de faisceau 61 et le

système de détection 64. Le système optique 63 focalise la portion 65 du faisceau lumineux sur le système de détection 64. Ce système de détection 64 permet de fournir un signal représentatif d'un angle 66 entre la normale 31 à la surface de l'échantillon 3 et l'axe optique du faisceau d'illumination 42.

5 Comme illustrée sur la figure 12, le porte-échantillon 35 est muni d'un système d'actionneur 36 adapté pour modifier l'angle d'inclinaison du porte-échantillon transversalement à la normale 31 à la surface de l'échantillon. A titre d'exemple non limitatif, le système d'actionneur 36 est de type trait-point-plan et comporte deux actionneurs et un point pivot, l'un des deux actionneurs opérant
10 une translation linéaire selon l'axe X et l'autre actionneur opérant une translation linéaire selon de l'axe Y autour du point pivot. Un système électronique 6 est relié d'une part à l'autre système de détection 64 et d'autre part au système d'actionneurs du porte-échantillon. Le système électronique 6 comporte par exemple une carte électronique embarquée. Le système électronique 6 reçoit le
15 signal représentatif de l'angle 66 entre la normale 31 à la surface de l'échantillon et l'axe optique du faisceau d'illumination 42 et applique une commande sur le système d'actionneur 36 de manière à réduire l'angle d'inclinaison 66 entre la normale 31 à la surface de l'échantillon et l'axe optique du faisceau d'illumination 42. On obtient ainsi un réglage du porte-échantillon en auto-collimation par rapport
20 au faisceau d'illumination 42. Lors d'un changement d'échantillon, le sous-ensemble d'imagerie 4 permet ainsi de retrouver rapidement le réglage d'auto-collimation sans avoir à modifier l'alignement des composants optiques de l'ellipsomètre.

25 Selon un autre aspect particulier et optionnel, le sous-ensemble d'imagerie 4 comporte en outre un dispositif optique polarisant 67 disposé sur le chemin optique du faisceau d'illumination 42 et/ou un autre dispositif optique polarisant 68 disposé sur le chemin optique du faisceau lumineux d'imagerie 44.

30 Plus particulièrement, pour faire des mesures de polarimétrie, on insère un polariseur 67 de type Glan sur le faisceau d'illumination 42 et un autre polariseur 68 de type Glan sur le faisceau lumineux d'imagerie 44. De façon alternative, on remplace la lame séparatrice 43 et les polariseurs 67, 68 par un seul polariseur ou un cube séparateur de polarisation. Le sous-ensemble d'imagerie 4 forme ainsi un polarimètre sous-incidence normale. Un tel polarimètre permet d'étudier la variation de l'état de polarisation du faisceau d'illumination 42

polarisé par un échantillon anisotrope. Le faisceau d'illumination 42 incident est polarisé, réfléchi par l'échantillon puis analysé par un polariseur 68 qui joue le rôle d'analyseur en amont de la caméra 46. De préférence, les deux polariseurs 67 et 68 en polarisation sont orientés avec des axes de polarisation croisés de manière à obtenir une extinction du faisceau lumineux d'imagerie 44 sur échantillon isotrope. Ainsi, le polarimètre détecte uniquement les variations d'état de polarisation induites par la réflexion sur un échantillon anisotrope.

Le système de visualisation de la présente divulgation peut être installé en usine sur un nouvel ellipsomètre.

La présente divulgation propose aussi un accessoire de visualisation destiné à être installé sur un ellipsomètre existant. Cet accessoire comporte un premier séparateur optique de faisceau 27 et un premier système d'imagerie 28, destinés à être installés dans la section d'analyse de l'ellipsomètre, un sous-ensemble d'imagerie 4 destiné à être placé en incidence normale par rapport à l'échantillon à analyser et un système de traitement d'image 5. Le premier système d'imagerie 28 acquiert une première image 51 sous incidence oblique d'une première zone 33 de l'échantillon autour du spot de mesure, comme décrit ci-dessus et la transmet au système de traitement d'image 5. Le sous-ensemble d'imagerie 4 génère un faisceau d'illumination 42 destiné à éclairer sous incidence normale une deuxième zone 34 de l'échantillon autour du spot de mesure. Le sous-ensemble d'imagerie 4 acquiert une deuxième image 52 de la deuxième zone de l'échantillon et la transmet au système de traitement d'image 5. Le système de traitement d'image 5 applique une suite d'étapes de traitement d'image à la première image et la deuxième image pour former une troisième image 58 comprenant une projection de l'image du spot de mesure sur la deuxième image 52 de l'échantillon, la projection 57 étant adaptée en fonction de l'angle d'incidence du faisceau lumineux incident.

La figure 13 représente schématiquement un ellipsomètre monté sur un goniomètre selon un mode de réalisation particulier. Un autre type d'instrument, réflectomètre ou polarimètre, peut être installé sur le goniomètre à la place de l'ellipsomètre. Le goniomètre comporte un rail de guidage 70 de forme semi-circulaire. La section d'excitation 1 de l'ellipsomètre est montée sur un bloc moteur 71 qui permet de déplacer la section d'excitation le long du rail de guidage 70. Le centre de rotation de la section d'excitation 1 lors d'une excursion le long du rail de

guidage 70 est supposé être confondu avec le spot de mesure 32 d'ellipsométrie. De manière symétrique, la section d'analyse 2 de l'ellipsomètre est montée sur un bloc moteur 72 qui permet de déplacer la section d'analyse 2 le long du rail de guidage 70 autour du même centre de rotation. La section d'analyse 2 comporte

5 ici un premier séparateur optique de faisceau 27 et un premier système d'imagerie 28, comme décrit en lien avec la figure 4. Un sous-ensemble d'imagerie 4 est monté sur une platine fixée au bâti supportant le rail de guidage 70. Le sous-ensemble d'imagerie 4 comporte ici la source auxiliaire 41, le deuxième système d'imagerie 46, le détecteur quatre-quadrants 64 et les séparateurs optiques de

10 faisceau 43 et 61 ou un cube séparateur (de polarisation on non) ou polariseur. La source auxiliaire 41 émet le faisceau d'illumination 42 qui est aligné sur la normale 31 à la surface de l'échantillon.

On voit bien sur la figure 13 que le sous-ensemble d'imagerie 4 n'empêche pas les mouvements de la section d'excitation 1 et de la section

15 d'analyse 2 dans une large gamme d'angle d'incidence par exemple de 20 à 90 degrés.

De manière optionnelle, le sous-ensemble d'imagerie 4 peut aisément être retiré pour laisser un accès par exemple pour des mesures sous incidence normale ou quasi-normale.

20 L'homme du métier adaptera aisément l'ellipsomètre en réflexion décrit en lien avec les figures 4 et 13 à un ellipsomètre en transmission en déplaçant simplement la section d'analyse pour la disposer sur le trajet optique du faisceau lumineux de mesure transmis sous incidence oblique à travers un échantillon transparent.

25 D'autre part, l'homme du métier adaptera aisément l'ellipsomètre décrit en lien avec les figures 4 et 13 pour des mesures polarimétriques. Enfin, en retirant l'analyseur d'état de polarisation de la section d'analyse et le dispositif polarisant 14 de la section d'excitation 1, on obtient aisément un simple réflectomètre. Le système de visualisation du spot de mesure de la présente

30 divulgation s'adapte à tout type d'instrument de mesure de type réflectomètre, polarimètre ou ellipsomètre fonctionnant avec un faisceau lumineux incident de mesure sous incidence oblique.

Procédé

La présente divulgation concerne aussi un procédé de mesure, de

réflectométrie, d'ellipsométrie ou de polarimétrie comprenant les étapes suivantes :

- émission d'un faisceau lumineux incident 12 destiné à former un spot de mesure sur un échantillon 3 sous un angle d'incidence oblique ;
- 5 - réception d'un faisceau lumineux de mesure 22 formé par réflexion spéculaire ou transmission du faisceau lumineux incident 12 sur l'échantillon 3 ;
- séparation optique du faisceau lumineux de mesure 22 et transmission d'une partie du faisceau lumineux de mesure vers un premier système d'imagerie 28 ;
- 10 - acquisition par le premier système d'imagerie 28 d'une première image 51 d'une première zone 33 de l'échantillon autour du spot de mesure ;
- émission d'un faisceau d'illumination 42 destiné à éclairer sous incidence normale une deuxième zone 34 de l'échantillon autour du spot de mesure ;
- 15 - réception d'un faisceau lumineux d'imagerie 44 formé par réflexion du faisceau d'illumination 42 sur la deuxième zone de l'échantillon ;
- séparation optique du faisceau d'illumination 42 et du faisceau lumineux d'imagerie 44 et transmission d'au moins une partie du faisceau lumineux d'imagerie 44 vers un deuxième système d'imagerie 46 ;
- 20 - acquisition par le deuxième système d'imagerie 46 d'une deuxième image 52 de la deuxième zone de l'échantillon ;
- 25 - traitement de la première image 51 adapté pour extraire une image du spot de mesure, redimensionner et appliquer une projection à l'image du spot de mesure en fonction de l'angle d'incidence ; et
- génération d'une troisième image comprenant l'image projetée et redimensionnée du spot de mesure, l'image projetée et redimensionnée du spot de mesure étant positionnée et disposée en
- 30 superposition ou en incrustation dans la deuxième image 52 de ladite deuxième zone de l'échantillon.

Le procédé de visualisation décrit ci-dessus est avantageusement appliqué simultanément avec des mesures d'ellipsométrie, de polarimétrie ou de

réflectométrie sous incidence oblique obtenus à partir d'un détecteur 26 qui reçoit une autre partie du faisceau lumineux de mesure que celle dirigée vers le premier système d'imagerie.

REVENDEICATIONS

1. Instrument de mesure (100) comportant une section d'excitation (1) et une section d'analyse (2), la section d'excitation (1) incluant une première source de lumière (11) adaptée pour émettre un faisceau lumineux incident (12) destiné à
5 former un spot de mesure (32) sur un échantillon (3) sous un angle d'incidence oblique, la section d'analyse (2) étant disposée pour recevoir un faisceau lumineux de mesure (22) formé par réflexion ou transmission du faisceau lumineux incident (12) sur l'échantillon (3), la section d'analyse (2) comprenant un système de
10 détection (26) adapté pour détecter une partie du faisceau lumineux de mesure (22),

caractérisé en ce que :

- la section d'analyse (2) comporte un premier séparateur optique de faisceau (27) et un premier système d'imagerie (28), le premier séparateur optique de faisceau (27) étant disposé sur un trajet optique du faisceau lumineux de
15 mesure (22) et apte à transmettre une autre partie du faisceau lumineux de mesure (22) vers le premier système d'imagerie (28), le premier système d'imagerie (28) étant adapté pour acquérir une première image (51) d'une première zone (33) de l'échantillon autour du spot de mesure (32) ;

et en ce que l'instrument de mesure comporte en outre :

20 - une deuxième source de lumière (41) disposée de manière à émettre un faisceau d'illumination (42) destiné à éclairer sous incidence quasi-normale une deuxième zone (34) de l'échantillon autour du spot de mesure (32), un deuxième système d'imagerie (46) disposé de manière à recevoir un faisceau lumineux d'imagerie (44) formé par réflexion du faisceau d'illumination (42) sur la deuxième
25 zone (34) de l'échantillon et acquérir une deuxième image (52) de la deuxième zone (34) de l'échantillon ; et

- un système de traitement d'image (5) adapté pour recevoir la première image (51) et la deuxième image (52), le système de traitement d'image (5) étant adapté pour extraire une image du spot de mesure de la première image (51) et
30 pour former une troisième image (58) comprenant une projection (57) de l'image du spot de mesure, la projection (57) étant redimensionnée en fonction de l'angle d'incidence du faisceau lumineux incident et ladite projection étant positionnée et disposée en superposition ou en incrustation dans la deuxième image (52) de la deuxième zone de l'échantillon.

2. Instrument de mesure (100) selon la revendication 1 comportant en outre un deuxième séparateur optique de faisceau (43) disposé de manière à recevoir le faisceau d'illumination (42) de la deuxième source de lumière (41) et à diriger le faisceau d'illumination (42) vers l'échantillon (3), et le deuxième
5 séparateur optique de faisceau (43) étant adapté pour recevoir le faisceau lumineux d'imagerie (44) et à le diriger vers le deuxième système d'imagerie (46).

3. Instrument de mesure (100) selon la revendication 1 à 2 comportant au moins un dispositif optique polarisant (43, 68, 67) disposé sur un chemin optique du faisceau d'illumination (42) et/ou du faisceau lumineux d'imagerie (44).

10 4. Instrument de mesure (100) selon l'une des revendications 1 à 3 dans lequel le deuxième système d'imagerie comporte une caméra (46), un objectif (45) et un filtre spatial (47) disposé dans un plan focal objet de l'objectif (45), le filtre spatial (47) étant adapté pour réduire les aberrations optiques sur la deuxième image (52).

15 5. Instrument de mesure (100) selon l'une des revendications 1 à 4 dans lequel le système de traitement d'image (5) comporte un sous-système de reconnaissance d'image adapté pour délimiter un contour de l'image du spot de mesure dans la première image (51) et/ou pour déterminer une première position et une première orientation de la première zone de l'échantillon dans la première
20 image (51) et/ou, respectivement pour déterminer une deuxième position et une deuxième orientation de la deuxième zone de l'échantillon dans la deuxième image (52).

6. Instrument de mesure (100) selon la revendication 5 dans lequel le sous-système de reconnaissance d'image est adapté pour reconnaître
25 automatiquement au moins un motif dans la deuxième image (52).

7. Instrument de mesure (100) selon la revendication 5 ou 6 dans lequel le sous-système de reconnaissance d'image est adapté pour reconnaître et sélectionner l'image du spot de mesure (32) parmi une pluralité d'images formées par réflexion multiples entre deux faces de l'échantillon.

30 8. Instrument de mesure (100) selon l'une des revendications 1 à 7 comprenant en outre un troisième séparateur optique de faisceau (61) et un autre système de détection (64), le troisième séparateur optique de faisceau (61) étant disposé sur l'axe optique du faisceau d'illumination (42), le troisième séparateur optique de faisceau étant adapté pour transmettre une portion (65) du faisceau

lumineux formé par réflexion du faisceau d'illumination (42) sur la deuxième zone de l'échantillon vers l'autre système de détection (64), l'autre système de détection (64) étant adapté pour fournir un signal représentatif d'un angle (66) entre la normale (31) à la surface de l'échantillon (3) et un axe optique du faisceau d'illumination (42).

5
9. Instrument de mesure (100) selon la revendication 8 comprenant un porte-échantillon (35) muni d'un système d'actionneur (36) adapté pour modifier au moins un angle d'inclinaison du porte-échantillon transversalement à la normale (31) à la surface de l'échantillon et un système électronique adapté pour
10 recevoir le signal représentatif de l'angle (66) entre la normale (31) à la surface de l'échantillon et l'axe optique du faisceau d'illumination (42) et pour appliquer une commande sur le système d'actionneur (36).

10. Instrument de mesure (100) selon l'une des revendications 1 à 9 dans lequel la section d'analyse (2) comprenant un analyseur d'état de polarisation (24) disposé sur un trajet optique du faisceau lumineux de mesure (22) et dans lequel le système de détection (26) est adapté pour détecter un signal d'ellipsométrie ou de polarimétrie.

11. Accessoire de visualisation pour instrument de mesure (100) basé sur l'émission d'un faisceau lumineux incident (12) destiné à former un spot de mesure (32) sur un échantillon (3) sous un angle d'incidence oblique et la
20 détection d'un faisceau lumineux de mesure (22) formé par réflexion ou transmission du faisceau lumineux incident (12) sur l'échantillon (3), l'instrument de mesure (100) comprenant premier système d'imagerie (28) adapté pour générer une première image (51) d'une première zone de l'échantillon autour du spot de mesure (32), la première image (51) étant formée par réflexion ou
25 transmission du faisceau lumineux incident (12) sur l'échantillon, caractérisé en ce que l'accessoire de visualisation comprend :

- une deuxième source de lumière (41) et un deuxième système d'imagerie (46), la deuxième source de lumière (41) étant disposée de manière à
30 émettre un faisceau d'illumination (42) destiné à éclairer sous incidence quasi-normale une deuxième zone (34) de l'échantillon autour du spot de mesure (32), le deuxième système d'imagerie (46) étant disposé de manière à former une deuxième image (52) de la deuxième zone (34) de l'échantillon par réflexion du faisceau d'illumination (42) sur la deuxième zone (34) de l'échantillon, et

- un système de traitement d'image (5) adapté pour recevoir la première image (51) et la deuxième image (52), le système de traitement d'image (5) étant adapté pour extraire une image du spot de mesure de la première image (51) et pour former une troisième image (58) comprenant une projection (57) de l'image du spot de mesure en superposition ou en incrustation avec la deuxième image (52) de l'échantillon, la projection (57) étant redimensionnée en fonction de l'angle d'incidence du faisceau lumineux incident (12).

12. Accessoire de visualisation selon la revendication 11 comprenant en outre un troisième séparateur optique de faisceau (61) et un autre système de détection (64), le troisième séparateur optique de faisceau (61) étant disposé sur l'axe optique du faisceau d'illumination (42), le troisième séparateur optique de faisceau (61) étant adapté pour transmettre une portion (65) du faisceau lumineux formé par réflexion du faisceau d'illumination (42) sur la deuxième zone (34) de l'échantillon vers l'autre système de détection (64), l'autre système de détection (64) étant adapté pour fournir un signal représentatif d'un angle (66) entre la normale (31) à la surface de l'échantillon (3) et un axe optique du faisceau d'illumination (42).

Fig.1 Art ant.

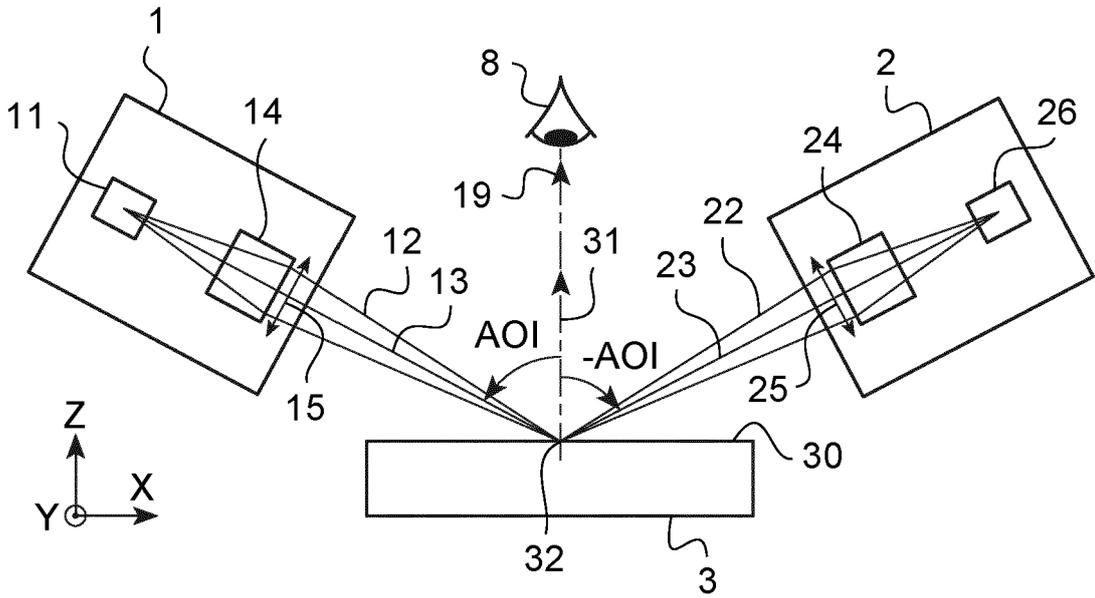


Fig.2 Art ant.

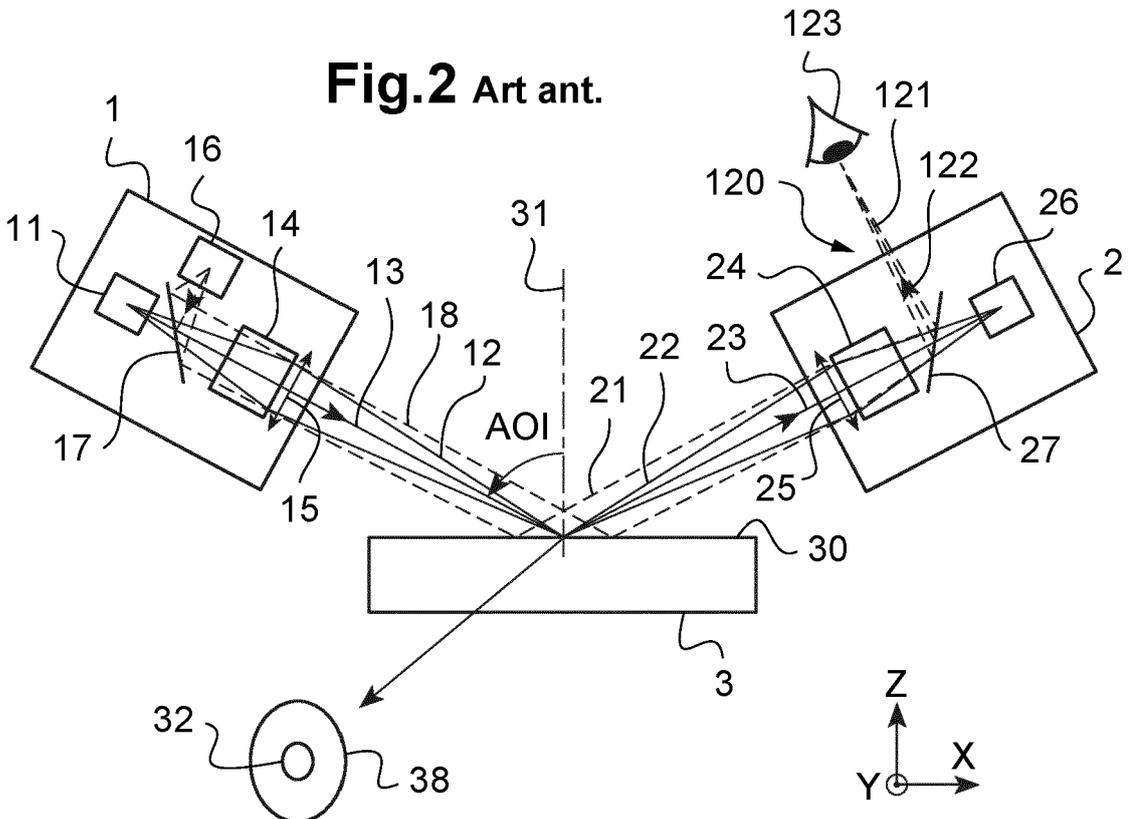


Fig.3

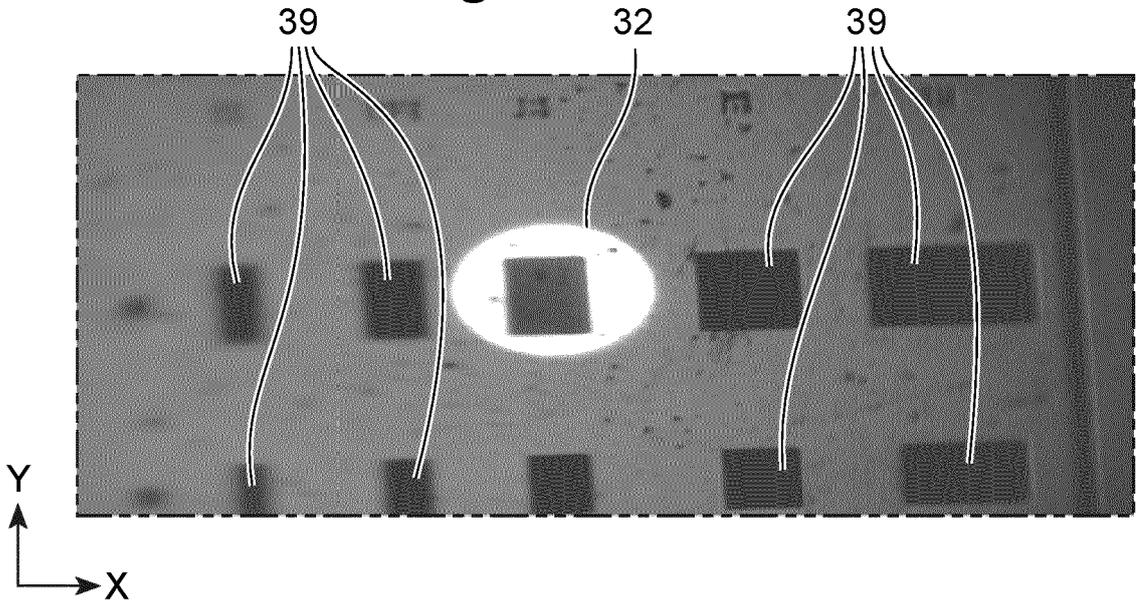
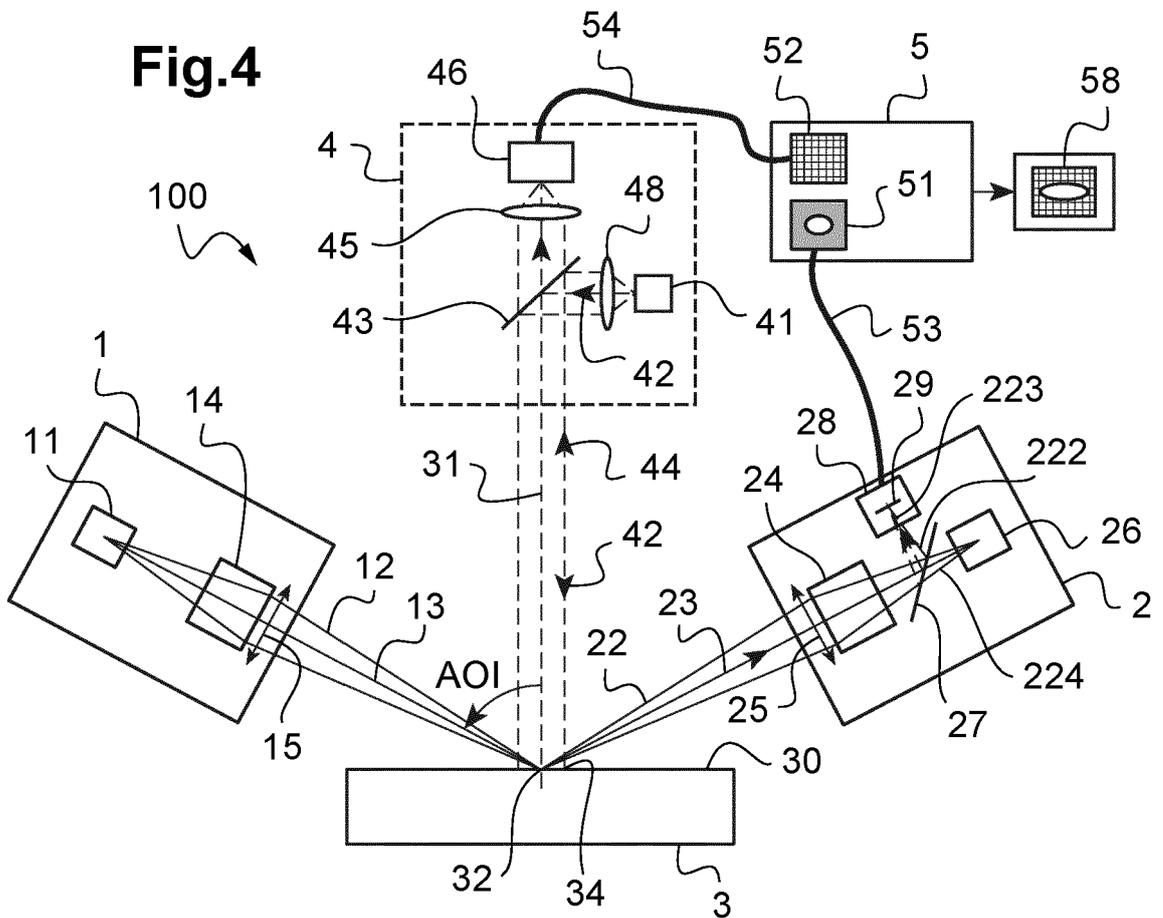


Fig.4



3/5

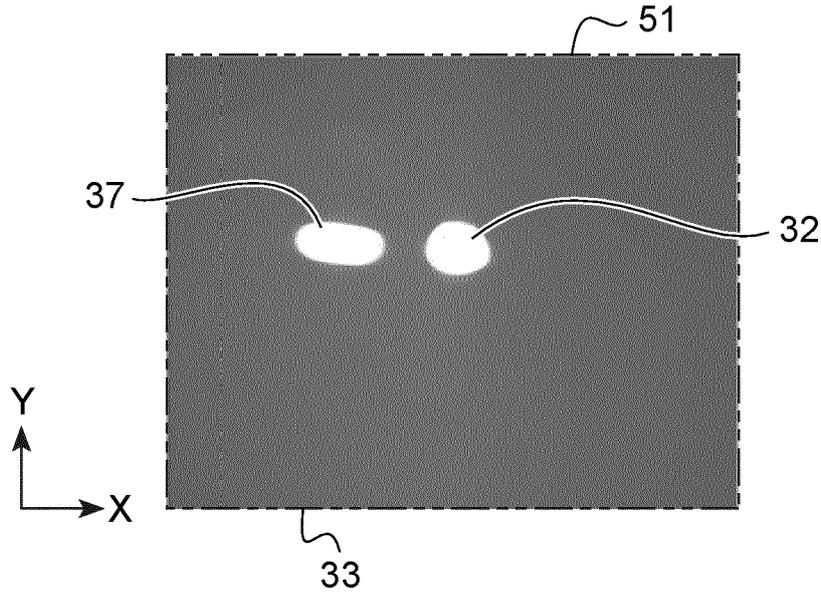


Fig. 5

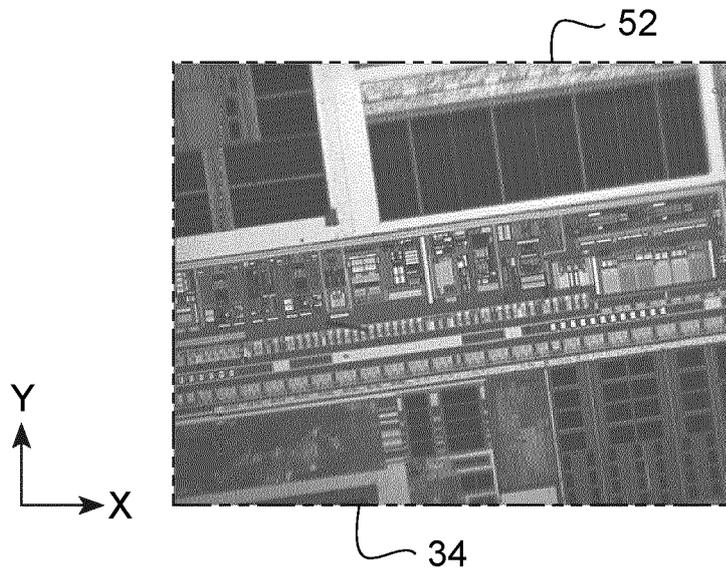


Fig. 6

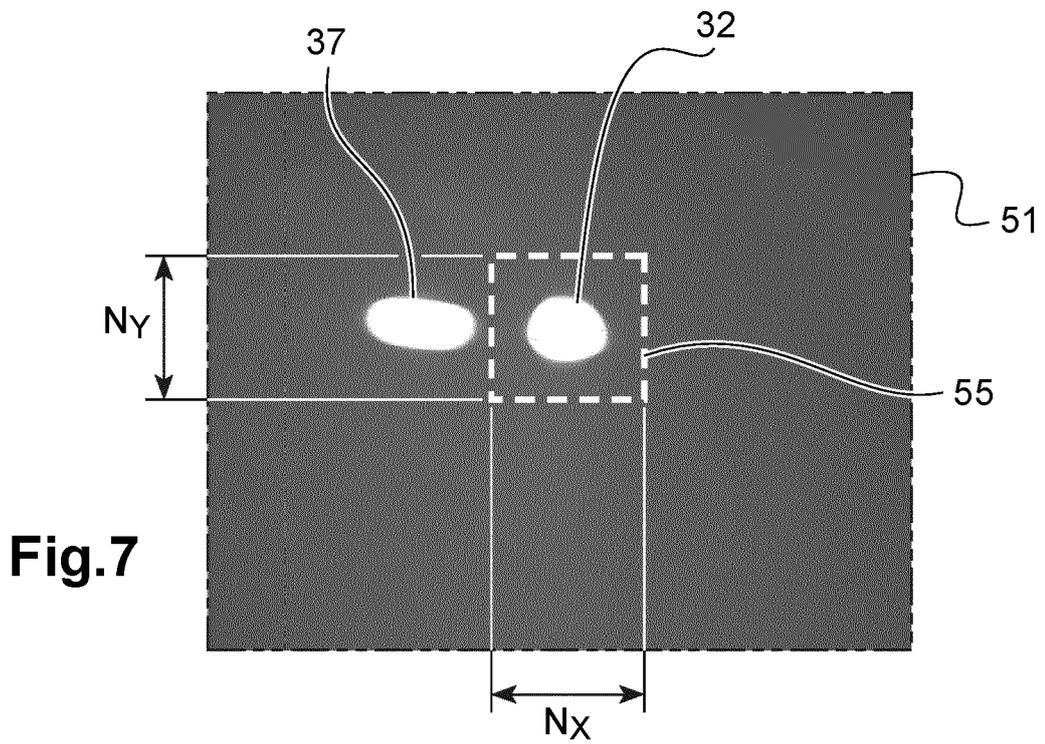


Fig. 7

Fig.8

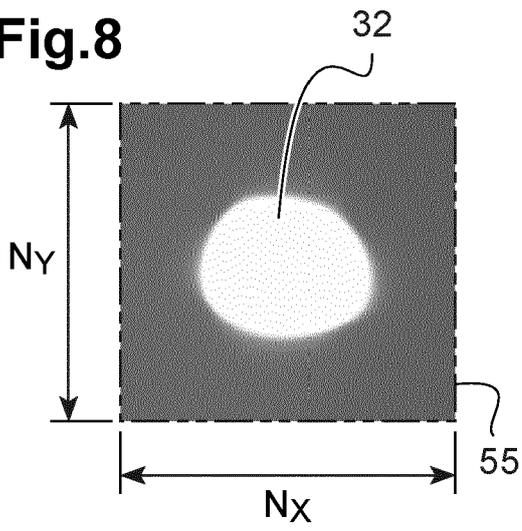


Fig.9

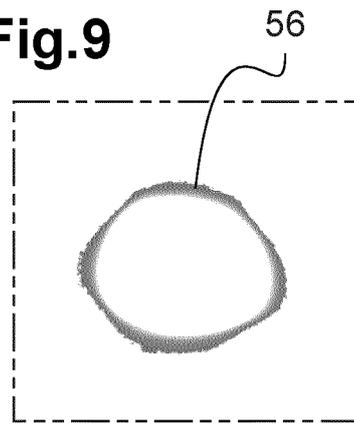


Fig.10

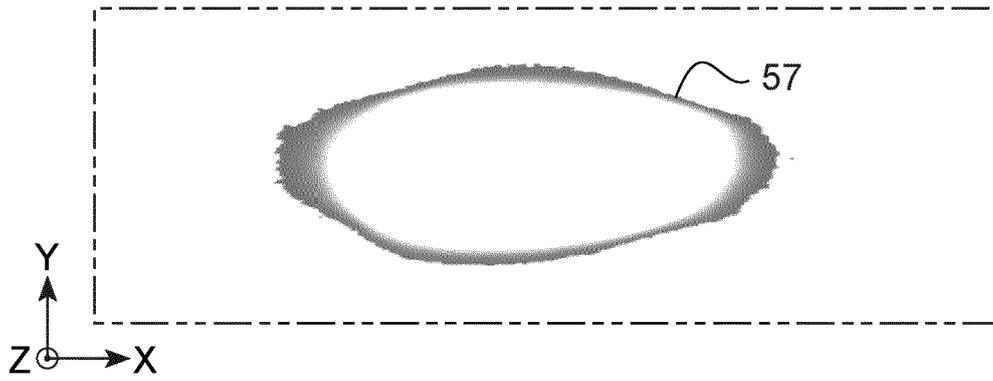


Fig.11

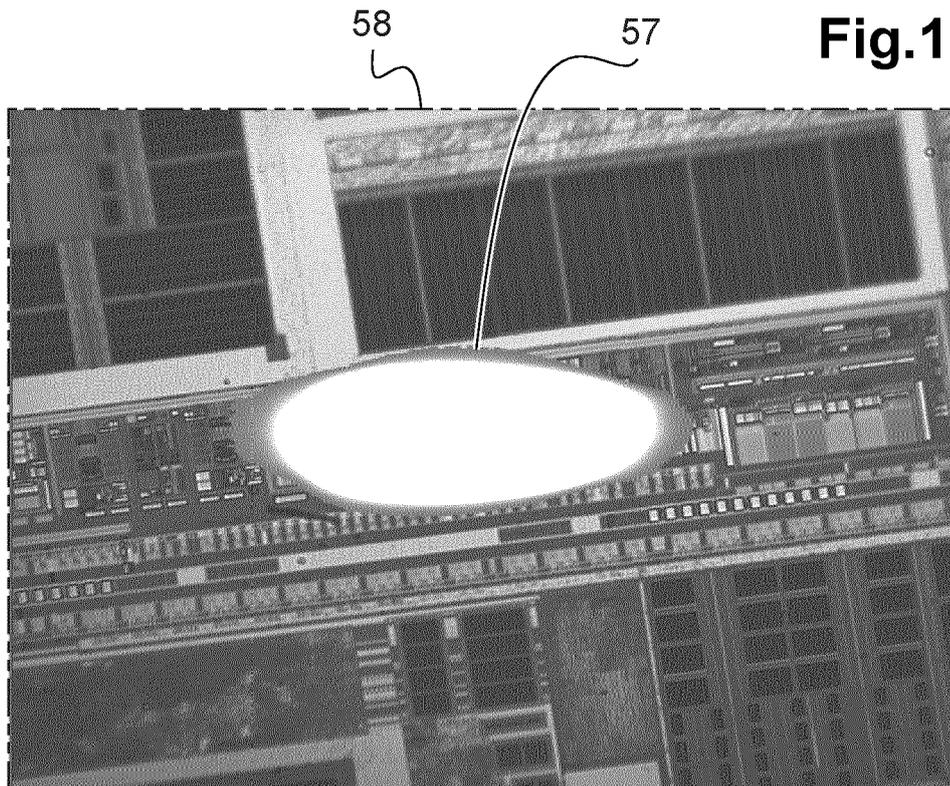


Fig.12

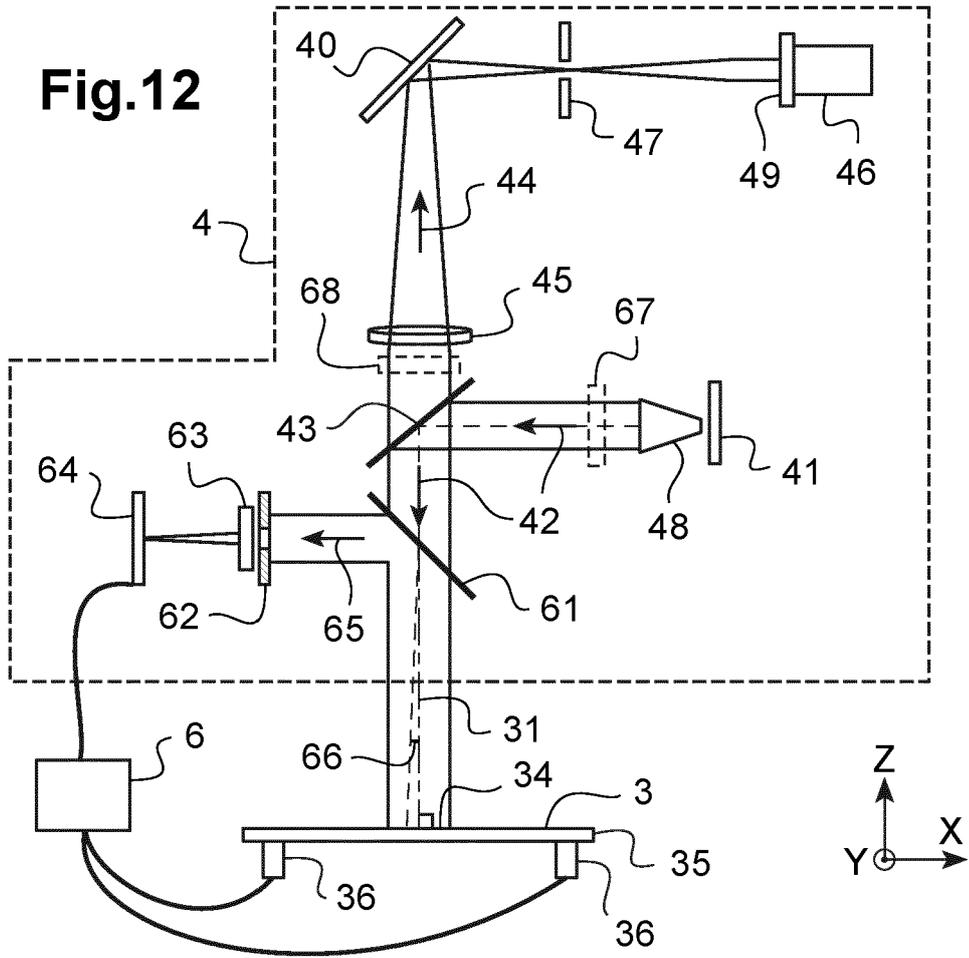
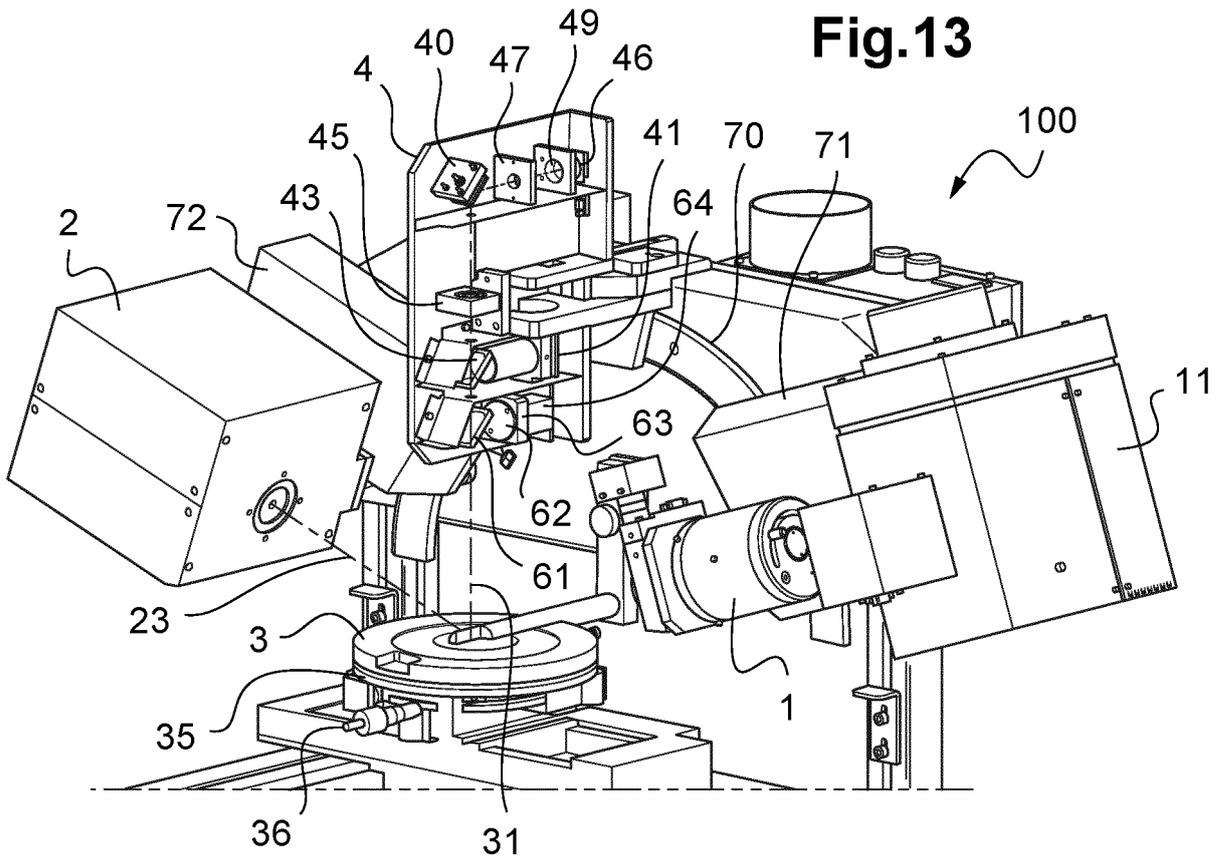


Fig.13



RAPPORT DE RECHERCHE

articles L.612-14, L.612-53 à 69 du code de la propriété intellectuelle

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

L'I.N.P.I. annexe à chaque brevet un "RAPPORT DE RECHERCHE" citant les éléments de l'état de la technique qui peuvent être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention, au sens des articles L. 611-11 (nouveau) et L. 611-14 (activité inventive) du code de la propriété intellectuelle. Ce rapport porte sur les revendications du brevet qui définissent l'objet de l'invention et délimitent l'étendue de la protection.

Après délivrance, l'I.N.P.I. peut, à la requête de toute personne intéressée, formuler un "AVIS DOCUMENTAIRE" sur la base des documents cités dans ce rapport de recherche et de tout autre document que le requérant souhaite voir prendre en considération.

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

Le demandeur a présenté des observations en réponse au rapport de recherche préliminaire.

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

Le demandeur a modifié la description pour en éliminer les éléments qui n'étaient plus en concordance avec les nouvelles revendications.

Les tiers ont présenté des observations après publication du rapport de recherche préliminaire.

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

La répartition des documents entre les rubriques 1, 2 et 3 tient compte, le cas échéant, des revendications déposées en dernier lieu et/ou des observations présentées.

Les documents énumérés à la rubrique 1 ci-après sont susceptibles d'être pris en considération pour apprécier la brevetabilité de l'invention.

Les documents énumérés à la rubrique 2 ci-après illustrent l'arrière-plan technologique général.

Les documents énumérés à la rubrique 3 ci-après ont été cités en cours de procédure, mais leur pertinence dépend de la validité des priorités revendiquées.

Aucun document n'a été cité en cours de procédure.

**1. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE SUSCEPTIBLES D'ETRE PRIS EN
CONSIDERATION POUR APPRECIER LA BREVETABILITE DE L'INVENTION**

WO 2008/087217 A1 (HORIBA JOBIN YVON SAS
[FR]; AMARY PASCAL [FR] ET AL.)
24 juillet 2008 (2008-07-24)

JP H06 147987 A (CANON KK)
27 mai 1994 (1994-05-27)

US 7 230 699 B1 (LIPHARDT MARTIN M [US] ET
AL) 12 juin 2007 (2007-06-12)

US 2017/276924 A1 (CHAN MATTHEW [US] ET
AL) 28 septembre 2017 (2017-09-28)

**2. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE ILLUSTRANT L'ARRIERE-PLAN
TECHNOLOGIQUE GENERAL**

NEANT

**3. ELEMENTS DE L'ETAT DE LA TECHNIQUE DONT LA PERTINENCE DEPEND
DE LA VALIDITE DES PRIORITES**

NEANT