

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 26.05.00.

30 Priorité :

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 30.11.01 Bulletin 01/48.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

71 Demandeur(s) : PRODUCTION RECHERCHES
APPLIQUEES — FR.

72 Inventeur(s) : STEHLE JEAN LOUIS et BOHER
PIERRE.

73 Titulaire(s) :

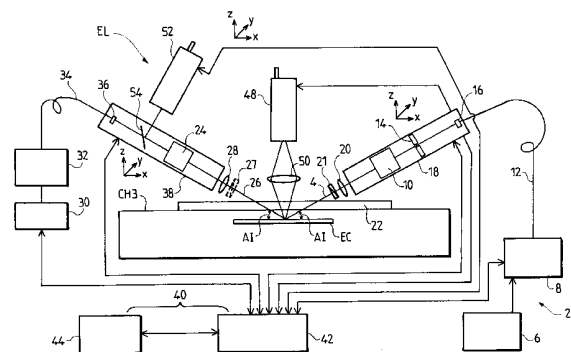
74 Mandataire(s) : CABINET NETTER.

54 PROCÉDE ET APPAREIL DE METROLOGIE ELLIPSOMETRIQUE POUR ECHANTILLON CONTENU DANS
UNE CHAMBRE OU ANALOGUE.

57 Dans le procédé de métrologie ellipsométrique pour
un échantillon contenu dans une chambre (CH3), il est pré-
vu une fenêtre (22) de dimensions et caractéristiques choi-
sies et disposée dans un plan sensiblement parallèle à la
surface de l'échantillon (EC) et fermant au moins partielle-
ment la chambre.

Le faisceau d'illumination polarisé est acheminé sur une
zone de l'échantillon, selon un premier chemin optique al-
lant du dispositif polariseur (10) jusqu'à la zone de l'échan-
tillon à travers la fenêtre (22), ledit premier chemin optique
formant un angle d'incidence (AI) oblique prédéterminé par
rapport à la surface de l'échantillon.

Le faisceau de réflexion (26) est acheminé sur le dispo-
sitif analyseur (24) selon un second chemin optique allant
de l'échantillon vers le dispositif analyseur à travers la fenê-
tre (22).



Procédé et appareil de métrologie ellipsométrique pour échantillon contenu dans une chambre ou analogue.

5

La présente invention concerne la métrologie ellipsométrique pour échantillon contenu dans une chambre ou analogue, afin d'obtenir des mesures non destructives relatives à l'état de surface dudit échantillon, sans sortir l'échantillon de la
10 chambre.

Elle trouve une application générale dans la caractérisation optique d'un échantillon, et plus particulièrement d'un échantillon en couches minces semi-conductrices. Elle trouve
15 ainsi une application dans le suivi de la production de circuits intégrés.

Généralement, l'ellipsométrie est utilisée pour mesurer en temps réel et in-situ un changement de surface au cours d'un
20 procédé de fabrication de circuits intégrés, par exemple lors de la croissance de couches sur un substrat.

De manière connue, un appareil d'ellipsométrie achemine un faisceau d'illumination polarisé sur l'échantillon selon un
25 angle d'incidence oblique prédéterminé par rapport à la surface de l'échantillon. Le faisceau d'illumination est réfléchi par l'échantillon de façon symétrique par rapport à une normale à la surface de l'échantillon. Le faisceau de réflexion résultant de l'illumination de l'échantillon est
30 ensuite acheminé sur un dispositif analyseur de polarisation dont le faisceau de sortie est détecté pour être traité. Les changements de l'état de polarisation en phase et en amplitude causés par la réflexion sur l'échantillon sont traités afin d'en déduire des paramètres physiques représentatifs de
35 l'échantillon.

En pratique, la fabrication de circuits intégrés comprend plusieurs étapes d'élaboration dont certaines comprennent le dépôt de plusieurs couches successives. Le plus souvent, le
40 dépôt de ces couches doit être réaliser sans sortir l'échan-

tillon de la chambre de dépôt, notamment pour éviter de rompre l'atmosphère contrôlé de la chambre ou de polluer l'échantillon.

- 5 Or, il est souvent nécessaire de mesurer des paramètres physiques d'une couche avant le dépôt ou l'élaboration de la couche suivante.

10 Une solution connue consiste à mesurer en temps réel et in-situ la croissance des couches (ou la gravure) à l'aide d'un appareil de métrologie ellipsométrique.

15 Une telle solution a l'inconvénient d'exiger autant d'appareil de métrologie ellipsométrique que de chambre de dépôt ou d'élaboration, ce qui la rend relativement onéreuse.

20 De plus, dans certaines étapes d'élaboration des couches (étape de métallisation par exemple), il est difficile ou impossible du fait de l'absorption optique des couches, de mettre en oeuvre une telle solution ellipsométrique.

25 Enfin, il est pratiquement impossible de mener à bien une cartographie de l'échantillon sans sortir l'échantillon de la chambre et/ou sans déplacer l'échantillon relativement au faisceau d'illumination, ce qui est parfois difficile à mettre en oeuvre dans une chambre en raison des dimensions limitées de la chambre ou en raison de la difficulté d'intégrer à l'intérieur de la chambre un porte-échantillon mobile en X, Y et/ou Z.

30

La présente invention remédie à ces inconvénients.

35 Elle a ainsi pour principal objectif d'intégrer une métrologie ellipsométrique dans une chambre, sans sortir l'échantillon de ladite chambre, afin de mesurer l'échantillon, par exemple entre deux procédés d'élaboration ou à la fin de l'un de ces derniers, sans polluer les circuits intégrés en cours de fabrication et/ou sans rompre l'atmosphère contrôlé de la chambre.

A cet effet, la présente invention porte sur un procédé de métrologie ellipsométrique pour un échantillon contenu dans une chambre.

5 Selon une caractéristique importante de l'invention, le procédé comprend les étapes suivantes:

- 10 a) prévoir une source de lumière hors de la chambre pour produire un faisceau d'illumination;
- b) prévoir un dispositif polariseur hors de la chambre pour polariser le faisceau d'illumination;
- 15 c) prévoir une fenêtre de dimensions et caractéristiques choisies, disposée dans un plan sensiblement parallèle à la surface de l'échantillon et fermant au moins partiellement la chambre;
- 20 d) acheminer le faisceau d'illumination polarisé sur l'échantillon, selon un premier chemin optique allant du dispositif polariseur jusqu'à l'échantillon à travers la fenêtre, ledit premier chemin optique formant un angle d'incidence oblique prédéterminé par rapport à la surface de l'échantillon;
- 25 e) produire un faisceau de réflexion résultant de l'illumination de l'échantillon par ledit faisceau d'illumination, le faisceau de réflexion étant symétrique du faisceau d'illumination par rapport à une normale à la surface de l'échantillon;
- 30 f) prévoir un dispositif analyseur de polarisation hors de la chambre;
- 35 g) focaliser le faisceau de réflexion sur le dispositif analyseur selon un second chemin optique allant de l'échantillon vers le dispositif analyseur à travers la fenêtre;
- h) détecter le faisceau de sortie issu du dispositif analyseur pour fournir un signal de sortie;

i) traiter le signal de sortie pour déterminer les changements de l'état de polarisation en phase et en amplitude causés par la réflexion sur la zone de l'échantillon.

5 Le procédé selon l'invention permet ainsi d'effectuer une mesure d'ellipsométrie sur l'échantillon sans le sortir de la chambre, ce qui évite tout problème de pollution, notamment lors de la fabrication des circuits intégrés. Le procédé selon l'invention a aussi l'avantage de ne pas rompre
10 l'atmosphère contrôlé de la chambre. De plus, la fenêtre permet à un opérateur, le cas échéant à l'aide d'un microscope, de positionner précisément le faisceau d'illumination sur l'échantillon.

15 La présente invention vise en outre une métrologie ellipsométrique permettant de réaliser une cartographie de l'échantillon sans sortir ledit échantillon de la chambre et sans déplacer l'échantillon.

20 A cet effet, le procédé selon l'invention comprend en outre une étape j) qui consiste à maintenir l'échantillon fixe dans la chambre, et à déplacer longitudinalement et/ou latéralement le faisceau d'illumination polarisé pour illuminer une autre zone de l'échantillon, et à répéter les étapes d) à i),
25 selon le même angle d'incidence oblique.

L'étape j) permet ainsi d'effectuer une pluralité de mesures d'ellipsométrie sur une pluralité de zones de l'échantillon sans déplacer ledit échantillon et sans sortir l'échantillon
30 hors de la chambre. On obtient donc une cartographie de l'échantillon sans difficulté de mise en oeuvre, sans engendrer de pollution et sans rompre l'atmosphère contrôlé de la chambre.

35 Avantageusement, l'étape j) consiste en outre à déplacer transversalement le faisceau d'illumination sur l'échantillon fixe, à travers la fenêtre, afin d'ajuster la distance entre l'appareil de métrologie et la surface de l'échantillon.

De préférence, le procédé comprend en outre une étape de calibration dans laquelle on effectue les étapes suivantes:

- 1) effectuer au moins une première mesure ellipsométrique sur
5 un échantillon prédéterminé, selon des premières conditions expérimentales, sans fenêtre,
- 2) effectuer au moins une seconde mesure ellipsométrique sur
le même échantillon que celui de l'étape 1), selon des
10 secondes conditions expérimentales généralement semblables aux premières conditions expérimentales, mais à travers la fenêtre,
- 3) déterminer à partir des première et seconde mesures
15 ellipsométriques, l'effet résultant de la fenêtre sur le rapport des amplitudes tangente ψ des polarisations perpendiculaires et parallèles du faisceau de réflexion pour en déduire un facteur de correction ; et
- 20 4) tenir compte dans le traitement selon l'étape i), du facteur de correction ainsi déduit.

La présente invention a également pour objet un appareil de
25 métrologie ellipsométrique pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

La présente invention a encore pour objet une chambre formant
boîte propre à contenir un échantillon et comprenant une
interface avec une fenêtre de dimensions et caractéristiques
30 choisies, disposée dans un plan sensiblement parallèle à la surface de l'échantillon et fermant au moins partiellement la boîte, la boîte étant destinée à être associée à un appareil de métrologie tel que visé ci-avant.

35 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lumière de la description détaillée ci-après et des dessins dans lesquels :

- la figure 1 est une vue schématique d'une installation de fabrication de circuits intégrés équipée de plusieurs chambres de dépôt de couches selon l'art antérieur;
- 5 - la figure 2 est une vue schématique d'un appareil de métrologie ellipsométrique selon l'invention intégré à une chambre de refroidissement de l'installation de la figure 1;
- la figure 3 est une autre vue schématique de l'appareil de
10 métrologie ellipsométrique selon l'invention;
- la figure 4 représente schématiquement les éléments essentiels de l'appareil de métrologie ellipsométrique selon l'invention;
- 15 - la figure 5 illustre schématiquement le trajet optique du faisceau d'illumination à travers une fenêtre fermant au moins partiellement une chambre selon l'invention;
- 20 - la figure 6 représente une courbe du paramètre tangente ψ , mesuré en ligne droite à travers une fenêtre inclinée à 58° en fonction de la longueur d'onde;
- la figure 7 représente des courbes de mesure du paramètre
25 tangente ψ sur un substrat de silicium avec ou sans fenêtre en fonction de la longueur d'onde;
- la figure 8 représente une courbe du facteur de correction résultant de l'effet de la fenêtre à appliquer au paramètre
30 tangente ψ mesuré en fonction de la longueur d'onde;
- la figure 9 représente une courbe de l'épaisseur de silice mesurée sur un substrat de silicium avec ou sans fenêtre sur un grand diamètre de l'échantillon; et
- 35 - la figure 10 représente schématiquement une boîte formant chambre contenant un échantillon et propre à s'adapter sur l'appareil de métrologie selon l'invention.

Les dessins comportent des éléments de caractère certain. A ce titre, ils peuvent non seulement servir à mieux comprendre l'invention, mais aussi le cas échéant à la définition de celle-ci.

5

En référence à la figure 1, on a représenté une installation de fabrication de circuits intégrés de l'art antérieur. L'installation comprend plusieurs chambres CH, individualisées en CH1 à CH3, disposées en étoile autour d'une chambre de transfert CH4. A l'intérieur de la chambre CH4, un automate ROB est capable d'introduire ou extraire au moins un échantillon EC d'une chambre CH à une autre. Les échantillons EC proviennent d'une interface d'entrée IE et sont acheminés après traitement vers une interface de sortie IS.

10

Les chambres CH1 et CH2 sont par exemple des chambres de dépôt de couche par épitaxie. La chambre CH3 est par exemple une chambre de refroidissement.

20 En pratique, l'atmosphère dans les chambres est contrôlée par des équipements bien connus de l'homme de l'art.

Par exemple, la chambre CH1 est équipé d'un appareil de métrologie ellipsométrique de l'art antérieur, dont on a représenté seulement les faisceaux d'illumination FI et de réflexion FR sur un échantillon EC. Cet appareil est capable d'effectuer une mesure d'ellipsométrie pour mesurer en temps réel et in situ un changement de surface, par exemple au cours de la croissance de couche sur un substrat.

25

30 De façon connue, l'appareil d'ellipsométrie achemine un faisceau d'illumination polarisé FI sur l'échantillon EC selon un angle d'incidence oblique prédéterminée par rapport à la surface de l'échantillon. Le faisceau d'illumination FI est réfléchi par l'échantillon de façon symétrique par rapport à une normale à la surface de l'échantillon. Le faisceau de réflexion FR résultant de l'illumination de l'échantillon est ensuite acheminé sur un dispositif analyseur de polarisation dont le faisceau de sortie est détecté

35

pour être traité. Les changements de l'état de polarisation en phase et en amplitude causés par la réflexion sur l'échantillon sont traités afin d'en déduire des paramètres physiques représentatifs de l'échantillon.

5

Des fenêtres F1 et F2 sont pratiquées dans la chambre CH1, sur des chemins optiques conduisant respectivement, le faisceau d'illumination FI vers la chambre CH1, et le faisceau de réflexion FR hors de la chambre CH1. Les fenêtres
10 F1 et F2 sont disposées perpendiculairement au faisceau de mesure. L'angle d'incidence doit être de l'ordre de 60-75° par rapport à la normale de l'échantillon, ce qui impose des contraintes géométriques souvent incompatibles avec certains procédés de dépôt.

15

En référence à la figure 1, l'ellipsométrie s'effectue durant le procédé d'élaboration de couches (croissance ou gravure).

L'élaboration de ces couches doit généralement être réalisé
20 sans sortir l'échantillon de la chambre de dépôt et aussi sans rompre l'atmosphère contrôlée de la chambre.

Or, il est souvent nécessaire de mesurer des paramètres physiques d'une couche avant le dépôt ou l'élaboration de la
25 couche suivante.

La solution d'ellipsométrie telle que représentée en figure 1 a l'inconvénient d'exiger autant d'appareils de métrologie ellipsométrique que de chambres de dépôt ou d'élaboration. De
30 plus, dans certaines étapes de l'élaboration des couches, notamment dans l'étape de métallisation, il est difficile de mettre en oeuvre une telle solution ellipsométrique in-situ. Enfin, pour mener à bien une cartographie de l'échantillon, il convient de déplacer l'échantillon relativement au
35 faisceau d'illumination, ce qui est parfois difficile à mettre en oeuvre dans une chambre en raison des dimensions limitées de la chambre ou en raison de la difficulté d'intégrer à l'intérieur de la chambre un porte-échantillon mobile en X, Y et/ou Z.

C'est dans ce contexte, que la Demanderesse propose selon l'invention une solution permettant notamment d'effectuer des mesures ellipsométriques sur un échantillon sans sortir ledit échantillon de la chambre.

5

En référence aux figures 2 et 3, on retrouve les chambres CH3 et CH4 de l'installation de la figure 1, ainsi que l'automate de transfert ROB.

10 L'appareil de métrologie ellipsométrique EL selon l'invention comprend une source de lumière 2 disposée hors de la chambre CH3 pour produire un faisceau d'illumination 4. La source de lumière 2 comprend une alimentation 6 et une lampe 8, par
15 trie spectroscopique, ou bien une source laser dans le cas d'une ellipsométrie monochromatique.

Un dispositif polariseur 10 est disposé hors de la chambre CH3 pour polariser le faisceau d'illumination 2. Le dispositi
20 tif polariseur 10 comprend un polariseur de type Rochon par exemple. Le polariseur 10 est relié à la lampe 8 par une fibre optique 12. Le dispositif polariseur 10 comprend un diaphragme 14 monté en amont du polariseur et en aval du coupleur d'entrée de fibre optique 16 selon le sens de la
25 propagation de la lumière, afin de supprimer les polarisations parasites du polariseur. Les éléments 10, 14 et 16 sont avantageusement logés dans un bras 18 formant tête d'illumination.

30 Le faisceau d'illumination 2 peut être acheminé vers l'échantillon EC par des moyens de focalisation 20 de type objectif de microscope. L'échantillon EC est monté sur un porte-objet (non représenté), de préférence fixe.

35 La chambre CH3 est par exemple une chambre de refroidissement. Elle a une forme parallélépipédique. Elle est apte à contenir des échantillons de dimensions différentes, par exemple de diamètre de 200 millimètres.

La chambre CH3 est au moins partiellement fermée par une fenêtre 22 de dimensions et caractéristiques choisies, disposée dans un plan sensiblement parallèle à la surface de l'échantillon et fermant au moins partiellement la chambre.

5

Par exemple, la fenêtre 22 est en matériau PUROPSIL (Marque déposée), de type silice, isotropique et transparent dans l'Ultra-Violet.

10 Par exemple, les dimensions de la fenêtre sont de l'ordre de 130mm x 50mm x 4 mm.

L'objectif 20 achemine le faisceau d'illumination 4 polarisé sur une zone de l'échantillon, selon un premier chemin optique allant de la tête d'illumination 18 jusqu'à la zone
15 de l'échantillon à travers la fenêtre 22.

Une lame compensatrice 21 peut éventuellement être interposée entre le polariseur 10 et la fenêtre 22 afin d'améliorer les
20 conditions de mesure sur certains échantillons (notamment lorsque la variation de phase due à la réflexion sur l'échantillon est de l'ordre de +/- 90°).

Le premier chemin optique forme un angle d'incidence AI
25 oblique prédéterminé par rapport à la surface de l'échantillon.

En pratique, l'angle d'incidence AI est de l'ordre de 58°.

30 Un dispositif analyseur 24 de polarisation est prévu hors de la chambre CH3.

Un faisceau de réflexion 26 résulte de l'illumination de l'échantillon par le faisceau d'illumination 4. Le faisceau
35 de réflexion 26 est acheminé par un objectif 28 sur le dispositif analyseur 24 selon un second chemin optique allant de l'échantillon vers le dispositif analyseur à travers la fenêtre 22.

Le faisceau de réflexion 26 est symétrique du faisceau d'illumination 4 par rapport à une normale à la surface de l'échantillon.

- 5 Une lame compensatrice 27 peut être interposée entre la fenêtre 22 et l'analyseur 24, afin de jouer une fonction similaire à celle jouée par la lame 21 lorsque celle-ci est absente.
- 10 De même, cette fonction compensatrice peut être assurée par une couche d'un matériau approprié (non représenté) ou d'un dépôt multicouches revêtant la surface interne et/ou externe de la fenêtre. Les propriétés physiques de ce revêtement (indices optiques, épaisseurs) sont choisies de façon à
- 15 induire une variation de phase due à la fenêtre de l'ordre de 90° dans les gammes spectrales utiles. Ce revêtement est bien évidemment transparent dans ces gammes spectrales (silice, nitrure, alumine).
- 20 Un dispositif de détection 30, de type photodétecteur par exemple, détecte le faisceau de sortie issu du dispositif analyseur 24 pour fournir un signal de sortie. En présence d'une source lumineuse 2 à large bande, le photodétecteur est précédé d'un monochromateur ou spectromètre 32. Une fibre
- 25 optique 34 relie le monochromateur ou spectromètre 32 au dispositif analyseur 24, à l'aide d'un coupleur d'entrée 36. Les éléments 24, 36 sont avantageusement logés dans un bras 38 formant tête d'analyse.
- 30 Des moyens de traitement 40 traitent le signal de sortie pour déterminer les changements de l'état de polarisation en phase et en amplitude causés par la réflexion sur la zone de l'échantillon. Les moyens de traitement 40 comprennent une unité électronique de commande 42 et un micro-ordinateur 44.
- 35 Les bras d'illumination 18 et d'analyse 38 sont agencés pour réduire la taille de l'appareil de métrologie afin d'améliorer sa compacité.

Les bras d'illumination 18 et d'analyse 38 sont solidaires d'une table 46 mobile en X et en Y, dans un plan parallèle à la surface de l'échantillon.

5 Cette table est utilisée pour déplacer en X et en Y le faisceau d'illumination 4 sur la surface de l'échantillon. En pratique, le déplacement en X s'effectue sur une course de l'ordre de 100 millimètres et le déplacement en Y s'effectue sur une plus petite course, par exemple de l'ordre de 10
10 millimètres.

La table 46 est de préférence mobile en Z, pour adapter la distance entre les bras d'illumination et d'analyse et la surface de l'échantillon. Cette adaptation est utile dans le
15 cas d'un spot d'illumination de dimensions faibles par rapport à la précision de déplacement de la table.

L'angle d'incidence AI est par exemple fixé à l'issue d'une étape de calibration autour de 58°.
20

Un dispositif de reconnaissance d'images 48, de type caméra CCD, comprenant une lentille 50, est également prévu pour prendre des images de l'échantillon, en angle droit relativement à la surface de l'échantillon. De préférence, ce
25 dispositif 48 est solidaire de la table mobile.

De même, un dispositif d'autofocus 52, de type caméra CCD, intercepte à l'aide d'un séparateur 54, le signal issu de l'analyseur 24 afin d'adapter l'autofocus de l'appareil. De
30 préférence, ce dispositif 52 est aussi solidaire de la table mobile.

L'unité électronique de commande 42 pilote notamment le déplacement en X, Y et Z de la table 46 pour déplacer les
35 éléments 18, 38, 48 et 52. L'unité 42 commande également les éléments 8 et 30.

L'une des principales caractéristiques du dispositif de métrologie selon l'invention réside dans la fenêtre 22,

plane, disposée dans un plan parallèle à celui de la surface de l'échantillon, et fermant au moins partiellement la chambre contenant l'échantillon, les bras d'illumination 18 et d'analyse 38 étant disposés hors de la chambre.

5

Lorsque les bras d'illumination 18 et d'analyse 38 sont disposés selon une configuration appelée "straight line", c'est-à-dire en ligne droite, les tests montrent que l'appareil de métrologie ellipsométrique fonctionne correctement
10 lorsque le paramètre tangente ψ (Ψ) est égal à $1 \pm 0,01$ et lorsque le paramètre cosinus delta (Δ) est égal à $1 \pm 0,01$ dans la plage de longueur d'onde 0,25 nm à 0,85 nm.

La Demanderesse a effectué des calculs pour déterminer
15 l'effet de la fenêtre sur le calcul des paramètres ellipsométriques, notamment tangente ψ et cosinus delta.

En référence à la figure 4, on retrouve les éléments essentiels de l'appareil qui participent au calcul, avec E_L pour
20 la source, P pour le polariseur, W pour la fenêtre, S, pour l'échantillon, A pour l'analyseur, et D pour le détecteur.

L'équation 1 en annexe donne le champ électrique E_D sur le
détecteur.

25

L'équation 2 en annexe exprime en matrice le champ électrique E_D sur le détecteur.

L'équation 3 en annexe exprime l'intensité I sans la fenêtre.
30 Les coefficients K , α et β de l'équation 3 sont donnés respectivement dans les équations 4, 5, et 6 en annexe.

D'une manière générale, les paramètres tangente ψ et cosinus delta sont exprimés respectivement selon les équations
35 7 et 8 en annexe.

Lorsque la fenêtre est placée entre l'échantillon et les bras d'illumination et d'analyse, le calcul matriciel est exprimé selon l'équation 9 en annexe, ce qui permet d'exprimer les

paramètres tangente ψ et cosinus δ avec ou sans fenêtre selon les équations 10 et 11 en annexe.

5 En référence à la figure 5, on a représenté le trajet optique du faisceau d'illumination ou de réflexion à travers une fenêtre. La Demanderesse a par exemple évalué l'effet d'une fenêtre du type PUOPSIL (marque déposée) d'une épaisseur d de 4 mm et de coefficient n (par exemple $n = 1,5$).

10 La transmittance T de la fenêtre est donnée dans l'équation 12 dans laquelle les coefficients t_{01} , t_{10} , r_{01} , et r_{10} sont les coefficients de Fresnel correspondant aux coefficients de transmission et de réflexion au niveau de l'interface am-
15 biant/fenêtre et fenêtre ambiant (équations 13, 14, 15, et 16). Le paramètre δ représente le décalage de phase due à l'épaisseur de la fenêtre (équation 17).

Le produit des coefficients $t_{01} * t_{10}$ est exprimé dans l'équation 18 en annexe.

20

Les deux coefficients a et b de la matrice exprimée dans l'équation 9 sont donnés respectivement dans les équations 19 et 20.

25 Le facteur de correction destiné à être appliqué au paramètre tangente ψ est donné en référence à l'équation 21. L'équation 22 exprime le facteur de correction à appliquer au décalage de phase.

30 Il apparaît donc à l'issu des calculs théoriques (en ligne droite), que le paramètre tangente ψ doit être corrigé d'un facteur choisi, sensiblement dépendant de la longueur d'onde (à travers la légère variation de l'indice de réfraction de la fenêtre en fonction de la longueur d'onde) tandis que le
35 paramètre cosinus δ n'est pas affecté par la fenêtre.

En référence à la figure 6, on a représenté les valeurs ponctuelles des tangentes ψ mesurées en fonction de la longueur d'onde, avec un ellipsomètre en ligne droite et une

fenêtre inclinée à 58° . Ces points mesurés sont à comparer à la courbe C1 qui exprime le calcul du paramètre tangente ψ selon les équations mentionnés ci-avant, avec une fenêtre en PUROPSIL.

5

Il convient d'observer que le facteur de correction exprimé dans l'équation 21 doit être appliqué deux fois en raison de la double traversée de la fenêtre (en illumination et en réflexion).

10

En théorie, la calibration de l'effet de la fenêtre peut être réalisée en ligne droite avec une fenêtre inclinée à une incidence par exemple de 58° . Mais en pratique, il convient d'évaluer le facteur de correction sur le paramètre tangente Ψ en utilisant le ratio (courbe C4 en figure 8) de deux mesures de tangente ψ (figure 7), l'une (courbe C2) mesuré sans fenêtre et l'autre (courbe C3) mesuré avec fenêtre (figure 7), sur un échantillon en position de mesure et après réglage des éléments optiques.

20

En pratique, l'étape de calibration comprend les étapes suivantes :

1) - effectuer au moins une première mesure ellipsométrique sur un échantillon prédéterminé, selon des premières conditions expérimentales, sans fenêtre;

2) - effectuer au moins une seconde mesure ellipsométrique sur le même échantillon que celui de l'étape 1), selon des secondes conditions expérimentales généralement semblables aux premières conditions expérimentales, mais à travers la fenêtre;

3) - déterminer à partir des premières et secondes mesures ellipsométriques, l'effet résultant de la fenêtre sur le rapport des amplitudes tangente Ψ des polarisations perpendiculaires et parallèles du faisceau de réflexion pour en déduire un secteur de correction; et

4) - tenir compte dans le traitement selon l'étape précédente, du facteur de correction ainsi déduit.

L'approximation polynomiale (figure 8) peut être utilisée
5 directement pour corriger les mesures sur d'autres exemples.

Une cartographie peut être réalisée grâce à l'invention. La cartographie consiste à maintenir l'échantillon fixe dans la chambre, à déplacer longitudinalement et/ou latéralement le
10 faisceau d'illumination polarisé pour illuminer une autre zone de l'échantillon, et à répéter les différentes étapes du procédé selon le même angle d'incidence oblique, ce qui permet d'effectuer une pluralité de mesures d'ellipsométrie sur une pluralité de zones de l'échantillon, sans déplacer
15 ledit échantillon et sans sortir l'échantillon hors de la chambre.

Le procédé comprend en outre une étape qui consiste à déplacer transversalement le faisceau d'illumination sur
20 l'échantillon fixe à travers la fenêtre afin d'ajuster la distance entre l'appareil de métrologie et la surface de l'échantillon.

En référence à la figure 9, on a représenté des mesures
25 d'épaisseur en nm d'un échantillon comportant une couche de silice sur un substrat de silicium ayant un rayon de 100 mm. La courbe C5 représente les mesures effectuées sans fenêtre tandis que la courbe C6 représente les mesures effectuées avec fenêtre (et corrigées selon le facteur de correction
30 décrit ci-avant). Le bon accord entre les deux courbes montrent que la cartographie de l'échantillon à travers la fenêtre selon l'invention sur une course en X de 100 mm est totalement cohérente avec la même mesure effectuée sans
fenêtre.

35

En variante, la fenêtre peut être divisée en des première et seconde fenêtres de dimensions et caractéristiques identiques et choisies pour permettre le passage respectif des faisceaux d'illumination et de réflexion.

La chambre est par exemple une chambre de refroidissement propre à s'adapter à une ligne de production de circuits intégrés, afin de recevoir des échantillons à mesurer issus d'une chambre d'élaboration de ladite ligne de production.

5

En variante (figures 10A à 10C), la chambre peut être une boîte BO formant porte-échantillon propre à contenir un échantillon EC et pouvant être chargée ou extraite en lieu et place de l'échantillon sur l'appareil de métrologie décrit ci-avant.

10

Par exemple, la boîte BO est de forme parallélépipédique. Elle possède deux parois longitudinales PL1 et PL2 équipées chacune d'une glissière GL1, GL2 pour maintenir l'échantillon EC à l'intérieur de la boîte BO. La boîte comprend en outre une paroi latérale PL3 rabattable permettant le chargement/déchargement de l'échantillon dans/de la boîte. Selon l'invention, la boîte comprend une face supérieure équipée d'une fenêtre FN fermant la boîte.

15

20

Il est à remarquer que la fenêtre selon l'invention peut aussi jouer le rôle d'isolation thermique, notamment dans le cas de mesures ellipsométriques menées en environnement thermique contrôlé (four, cryostat).

ANNEXE

$$E_d = A^*R(A)^*W^*S^*W^*R(-P)^*P^*E_L \quad \text{Equation 1}$$

$$E_d = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos A & -\sin A \\ \sin A & \cos A \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} r_p & 0 \\ 0 & r_s \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \cos P & \sin P \\ -\sin P & \cos P \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} E_0 \\ E_0 \end{bmatrix}$$

Equation 2

15

$$I = E_d^*E_d = K(1 + \alpha \cos 2P + \beta \sin 2P) \quad \text{Equation 3}$$

20

$$K = \frac{E_0^2 |r_s|^2}{2} * \frac{\cos^2 A}{\frac{|r_p|^2}{|r_s|^2} + \tan^2 A}$$

Equation 4

30

$$\alpha = \frac{\frac{|r_p|^2}{|r_s|^2} - \tan^2 A}{\frac{|r_p|^2}{|r_s|^2} + \tan^2 A}$$

Equation 5

40

$$\beta = \frac{2 \tan A \cos(\delta_p - \delta_s) \frac{|r_p|}{|r_s|}}{\frac{|r_p|^2}{|r_s|^2} + \tan^2 A}$$

Equation 6

50

$$\Delta = \delta_p - \delta_s$$

$$\tan \psi = \frac{|r_p|}{|r_s|}$$

55

Equation 7

Equation 8

ANNEXE

5

$$\begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} r_p & 0 \\ 0 & r_s \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} \quad \text{Equation 9}$$

10

$$\tan \psi^{\text{avec}} = \left[\frac{|a|}{|b|} \right]^2 * \tan \psi^{\text{sans}} \quad \text{Equation 10}$$

15

$$\cos \Delta^{\text{avec}} = \cos(\Delta^{\text{sans}} - 2(\delta_a - \delta_b)) \quad \text{Equation 11}$$

20

$$T = \frac{t_{01} t_{10} e^{-j\beta}}{1 + r_{01} r_{10} e^{-2j\beta}} \approx t_{01} t_{10} e^{-j\delta} \quad \text{Equation 12}$$

25

$$t_{01}^{\text{P}} = \frac{2 \cos \varphi_0}{n \cos \varphi_0 + \cos \varphi_1} \quad \text{Equation 13}$$

30

$$t_{01}^{\text{S}} = \frac{2 \cos \varphi_0}{\cos \varphi_0 + n \cos \varphi_1} \quad \text{Equation 14}$$

35

$$r_{01}^{\text{P}} = \frac{n \cos \varphi_0 - \cos \varphi_1}{n \cos \varphi_0 + \cos \varphi_1} \quad \text{Equation 15}$$

40

$$r_{01}^{\text{S}} = \frac{\cos \varphi_0 - n \cos \varphi_1}{\cos \varphi_0 + n \cos \varphi_1} \quad \text{Equation 16}$$

45

50

$$\beta = 2\pi \left[\frac{d}{\lambda} \right] \sqrt{n^2 - \sin^2 \varphi_0} \quad \text{Equation 17}$$

55

ANNEXE

5

$$t_{01} * t_{10} = 1 - r_{01}^2$$

Equation 18

10

$$a = (1 - r_{01p}^2) e^{-j\beta}$$

Equation 19

15

$$b = (1 - r_{01s}^2) e^{-j\beta}$$

Equation 20

20

$$\left[\frac{|a|}{|b|} \right]^2 = \left[\frac{1 - r_{01p}^2}{1 - r_{01s}^2} \right]^2$$

Equation 21

25

$$\delta_a - \delta_b = 0$$

Equation 22

Revendications

1. Procédé de métrologie ellipsométrique pour un
5 échantillon contenu dans une chambre (CH3),

caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes:

a) prévoir une source de lumière (2) hors de la chambre (CH3)
10 pour produire un faisceau d'illumination (4);

b) prévoir un dispositif polariseur (10) hors de la chambre
pour polariser le faisceau d'illumination;

15 c) prévoir une fenêtre (22) de dimensions et caractéristiques
choisies et disposée dans un plan sensiblement parallèle à la
surface de l'échantillon (EC) et fermant au moins partielle-
ment la chambre;

20 d) acheminer le faisceau d'illumination polarisé sur une zone
de l'échantillon, selon un premier chemin optique allant du
dispositif polariseur (10) jusqu'à la zone de l'échantillon
à travers la fenêtre (22), ledit premier chemin optique
formant un angle d'incidence (AI) oblique prédéterminé par
25 rapport à la surface de l'échantillon;

e) produire un faisceau de réflexion (26) résultant de
l'illumination de la zone de l'échantillon par ledit faisceau
d'illumination (4), le faisceau de réflexion (26) étant
30 symétrique du faisceau d'illumination par rapport à une
normale à la surface de l'échantillon;

f) prévoir un dispositif analyseur de polarisation (24) hors
de la chambre;

35 g) acheminer le faisceau de réflexion (26) sur le dispositif
analyseur (24) selon un second chemin optique allant de
l'échantillon vers le dispositif analyseur à travers la
fenêtre (22);

h) détecter le faisceau de sortie issu du dispositif analyseur (24) pour fournir un signal de sortie; et

5 i) traiter le signal de sortie pour déterminer les changements de l'état de polarisation en phase et en amplitude causés par la réflexion sur la zone de l'échantillon.

10 2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape j) qui consiste à maintenir l'échantillon fixe dans la chambre (CH3), à déplacer longitudinalement et/ou latéralement le faisceau d'illumination polarisé pour illuminer une autre zone de l'échantillon, et à répéter les étapes d) à i), selon le même angle d'incidence
15 oblique, ce qui permet d'effectuer une pluralité de mesures d'ellipsométrie sur une pluralité de zones de l'échantillon sans déplacer ledit échantillon et sans sortir l'échantillon hors de la chambre.

20 3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'étape j) consiste en outre à déplacer transversalement le faisceau d'illumination sur l'échantillon fixe, à travers la fenêtre afin d'ajuster la distance entre l'appareil de métrologie et la surface de l'échantillon.

25 4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une étape de calibration comprenant les étapes suivantes:

30 1) effectuer au moins une première mesure ellipsométrique sur un échantillon prédéterminé, selon des premières conditions expérimentales, sans fenêtre,

35 2) effectuer au moins une seconde mesure ellipsométrique sur le même échantillon que celui de l'étape 1), selon des secondes conditions expérimentales généralement semblables aux premières conditions expérimentales, mais à travers la fenêtre (22),

3) déterminer à partir des première et seconde mesures ellipsométriques, l'effet résultant de la fenêtre sur le rapport des amplitudes tangente Ψ des polarisations perpendiculaires et parallèles du faisceau de réflexion pour en
5 déduire un facteur de correction ;

4) tenir compte dans le traitement selon l'étape j), du facteur de correction ainsi déduit.

10 5. Appareil de métrologie ellipsométrique pour un échantillon contenu dans une chambre (CH3), caractérisé en ce qu'il comprend:

15 - une source de lumière (2) hors de la chambre (CH3) pour produire un faisceau d'illumination (4);

- un dispositif polariseur (10) hors de la chambre (CH3) pour polariser le faisceau d'illumination;

20 - une fenêtre (22) de dimensions et caractéristiques choisies, disposée dans un plan sensiblement parallèle à la surface de l'échantillon et fermant au moins partiellement la chambre;

25 - un premier dispositif d'acheminement (20) pour acheminer le faisceau d'illumination (4) polarisé sur une zone de l'échantillon, selon un premier chemin optique allant du dispositif polariseur jusqu'à la zone de l'échantillon à travers la
30 fenêtre (22), ledit premier chemin optique formant un angle d'incidence oblique prédéterminé par rapport à la surface de l'échantillon;

- un dispositif analyseur (24) de polarisation hors de la chambre;

35

- un second dispositif d'acheminement (28) pour acheminer le faisceau de réflexion (26) résultant de l'illumination de l'échantillon par le faisceau d'illumination (4), sur le dispositif analyseur selon un second chemin optique allant de

l'échantillon vers le dispositif analyseur à travers la fenêtre, le faisceau de réflexion (26) étant symétrique du faisceau d'illumination (4) par rapport à une normale à la surface de l'échantillon;

5

- un dispositif de détection (30) pour détecter le faisceau de sortie issu du dispositif analyseur (24) pour fournir un signal de sortie;

10 - des moyens de traitement (40) pour traiter le signal de sortie pour déterminer les changements de l'état de polarisation en phase et en amplitude causés par la réflexion sur la zone de l'échantillon.

15 6. Appareil selon la revendication 5, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens de déplacement (46) pour déplacer longitudinalement et/ou latéralement le faisceau d'illumination polarisé pour illuminer une autre zone de l'échantillon, selon le même angle d'incidence oblique, ce
20 qui permet d'obtenir une cartographie de l'échantillon sans déplacer ledit échantillon et sans sortir l'échantillon hors de la chambre.

25 7. Appareil selon la revendication 5 ou la revendication 6, caractérisé en ce que la fenêtre (22) comprend des première et seconde fenêtres, de dimensions et caractéristiques identiques, et choisies pour permettre le passage respectif des faisceaux d'illumination et de réflexion.

30 8. Appareil selon l'une des revendications 5 à 7, caractérisé en ce que les moyens de déplacement (46) sont propres à déplacer transversalement le faisceau d'illumination sur l'échantillon fixe, ce qui permet d'ajuster la distance entre l'appareil de métrologie et la surface de
35 l'échantillon.

9. Appareil selon la revendication 6 ou la revendication 8, caractérisé en ce que les moyens déplacement (46) comprennent une table ajustable en X, et/ou en Y, et/ou en Z.

10. Appareil selon la revendication 9, caractérisé en ce que la table (46) est apte à porter le dispositif polariseur (10), le dispositif analyseur (24), et les premier et second dispositifs d'acheminement 20 et 28).

5

11. Appareil selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comprend une première fibre optique (12) disposé entre la source lumineuse (2) et le dispositif polariseur (10).

10

12. Appareil selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comprend une seconde fibre optique (34) disposée entre le dispositif analyseur (24) et le dispositif de détection (30).

15

13. Appareil selon l'une des revendications 5 à 12, caractérisé en ce qu'il comprend un diaphragme (14) disposé en amont du dispositif polariseur (10) selon le sens de la propagation de la lumière.

20

14. Appareil selon l'une des revendications 5 à 13, caractérisé en ce qu'il comprend une lame compensatrice (21) interposée entre le polariseur (10) et la fenêtre (22).

25

15. Appareil selon l'une des revendications 5 à 13, caractérisé en ce qu'il comprend une lame compensatrice (27) interposée entre la fenêtre (22) et l'analyseur (24).

30

16. Appareil selon l'une des revendications 5 à 13, caractérisé en ce qu'il comprend une couche d'un matériau approprié revêtant la surface interne et/ou externe de la fenêtre (22).

35

17. Appareil selon l'une des revendications 5 à 16, caractérisé en ce que la chambre (CH3) est une chambre de refroidissement propre à s'adapter à une ligne de production de circuits intégrés, afin de recevoir des échantillons à mesurer issus de ladite ligne de production.

18. Appareil selon l'une des revendications 5 à 16, caractérisé en ce que la chambre est une boîte formant porte-échantillon propre à contenir un échantillon et comprenant une interface conjuguée avec l'appareil de métrologie.

5

19. Boîte propre à contenir un échantillon et comprenant une face supérieure avec une fenêtre (FN) de dimensions et caractéristiques choisies, disposée dans un plan sensiblement parallèle à la surface de l'échantillon (EC) et fermant la
10 boîte, la boîte étant destinée à être associée à un appareil de métrologie comprenant :

- une source de lumière (2) hors de la chambre pour produire un faisceau d'illumination (4);

15

- un dispositif polariseur (10) hors de la chambre pour polariser le faisceau d'illumination (4);

- un premier dispositif d'acheminement (20) pour acheminer le
20 faisceau d'illumination (4) polarisé sur une zone de l'échantillon, selon un premier chemin optique allant du dispositif polariseur jusqu'à la zone de l'échantillon à travers la fenêtre, ledit premier chemin optique formant un angle d'incidence oblique prédéterminé par rapport à la surface de
25 l'échantillon;

- un dispositif analyseur (24) de polarisation hors de la chambre;

30 - un second dispositif d'acheminement (28) pour acheminer le faisceau de réflexion (26) résultant de l'illumination de l'échantillon par le faisceau d'illumination (4), sur le dispositif analyseur (24) selon un second chemin optique allant de l'échantillon vers le dispositif analyseur à
35 travers la fenêtre, le faisceau de réflexion (26) étant symétrique du faisceau d'illumination (4) par rapport à une normale à la surface de l'échantillon;

- un dispositif de détection (30) pour détecter le faisceau de sortie issu du dispositif analyseur pour fournir un signal de sortie;
- 5 - des moyens de traitement (40) pour traiter le signal de sortie pour déterminer les changements de l'état de polarisation en phase et en amplitude causés par la réflexion sur la zone de l'échantillon.

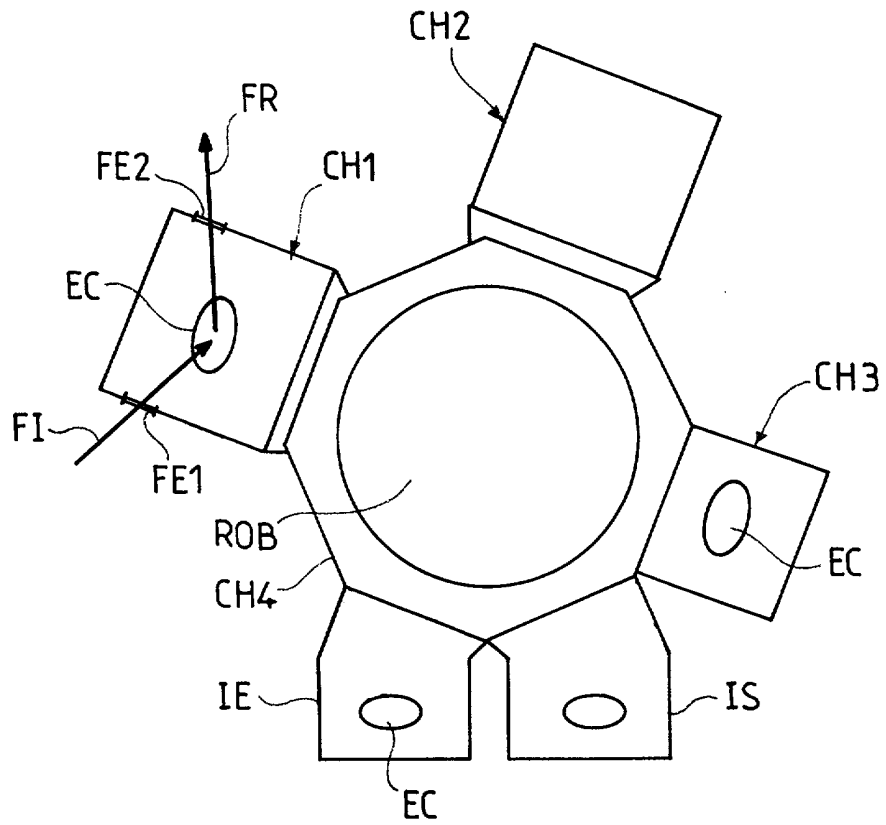


FIG.1

2/8

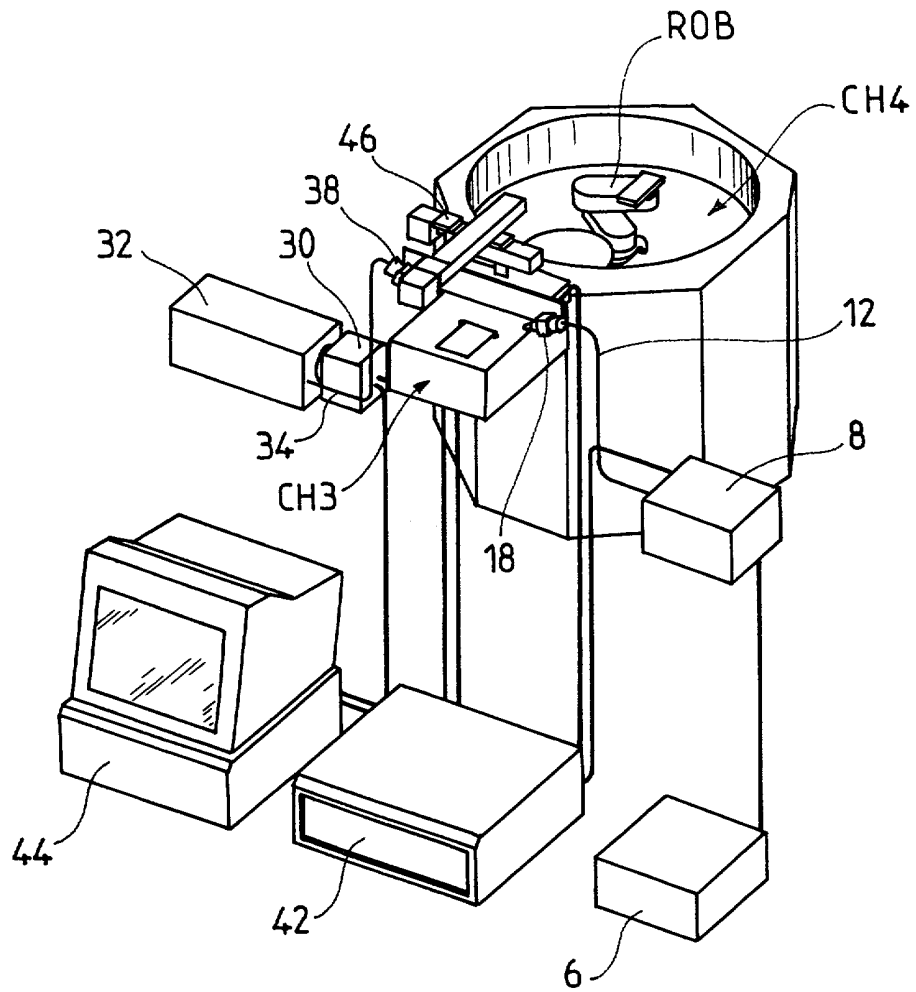
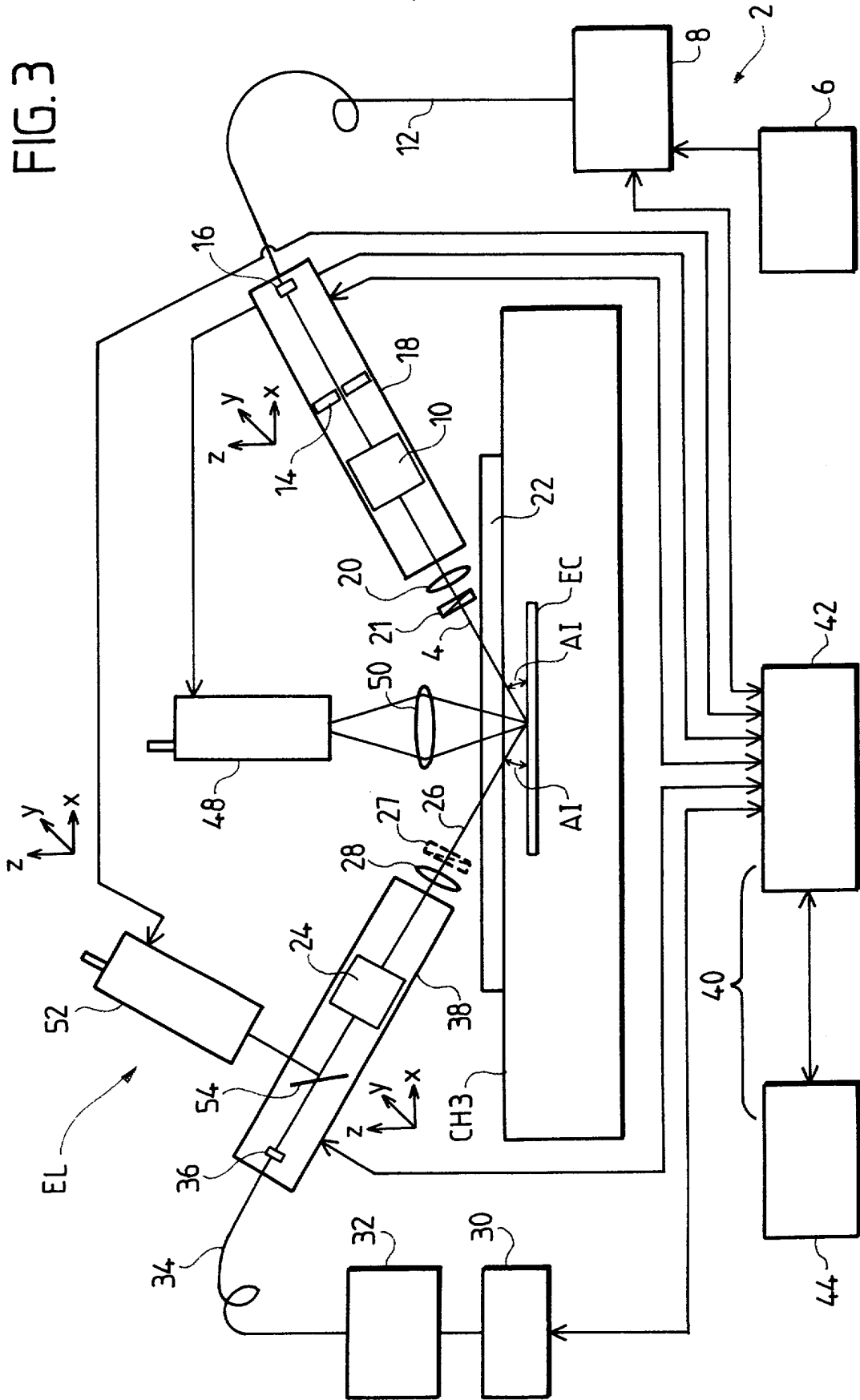


FIG. 2

FIG. 3



4/8

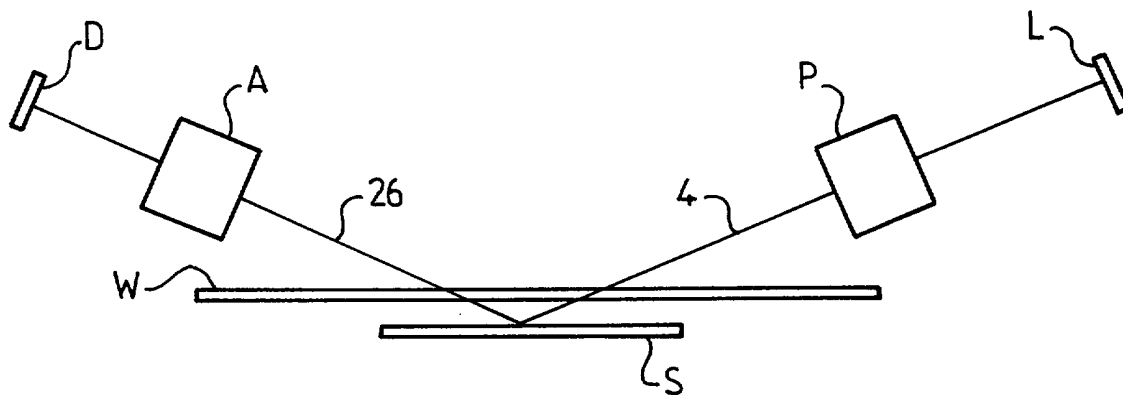


FIG.4

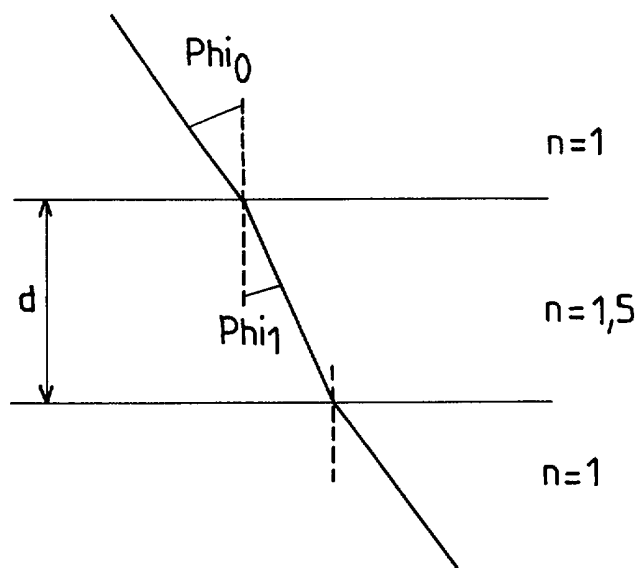


FIG.5

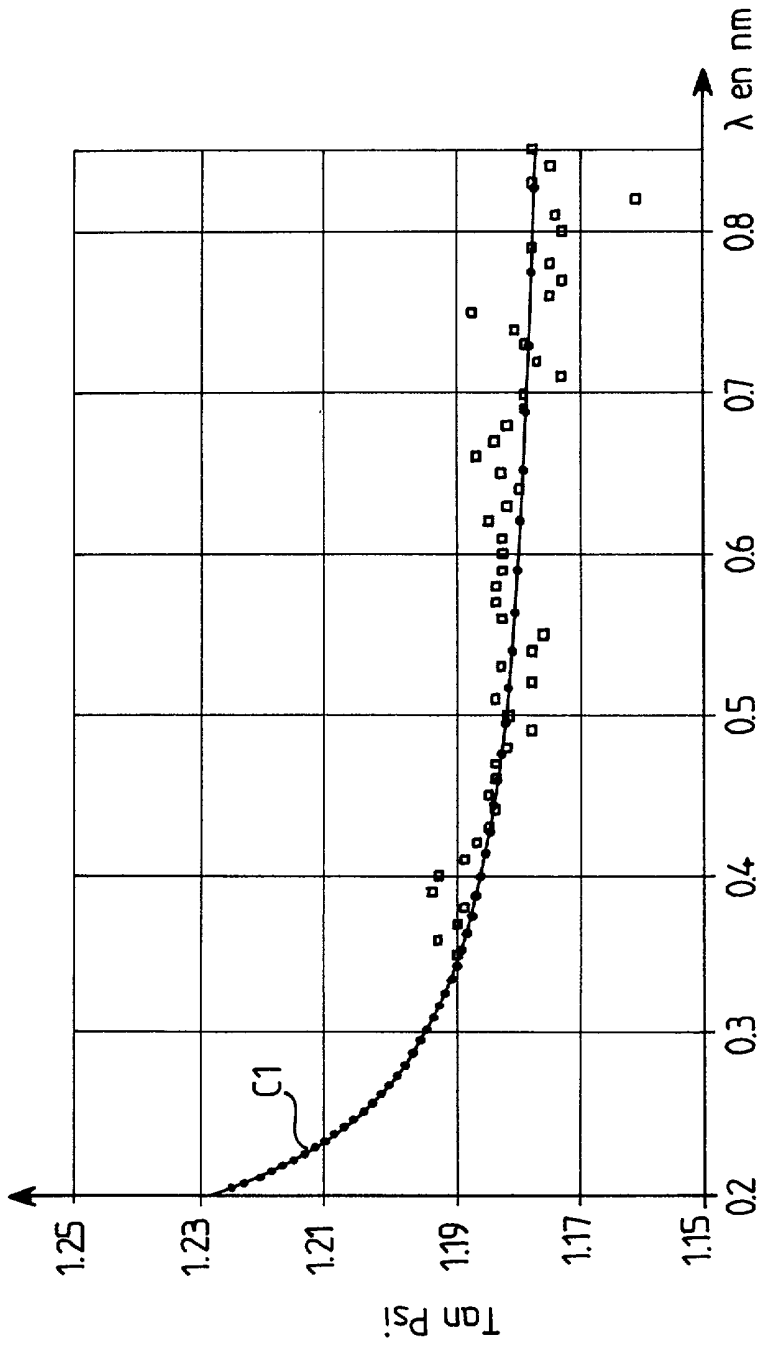


FIG.6

6/8

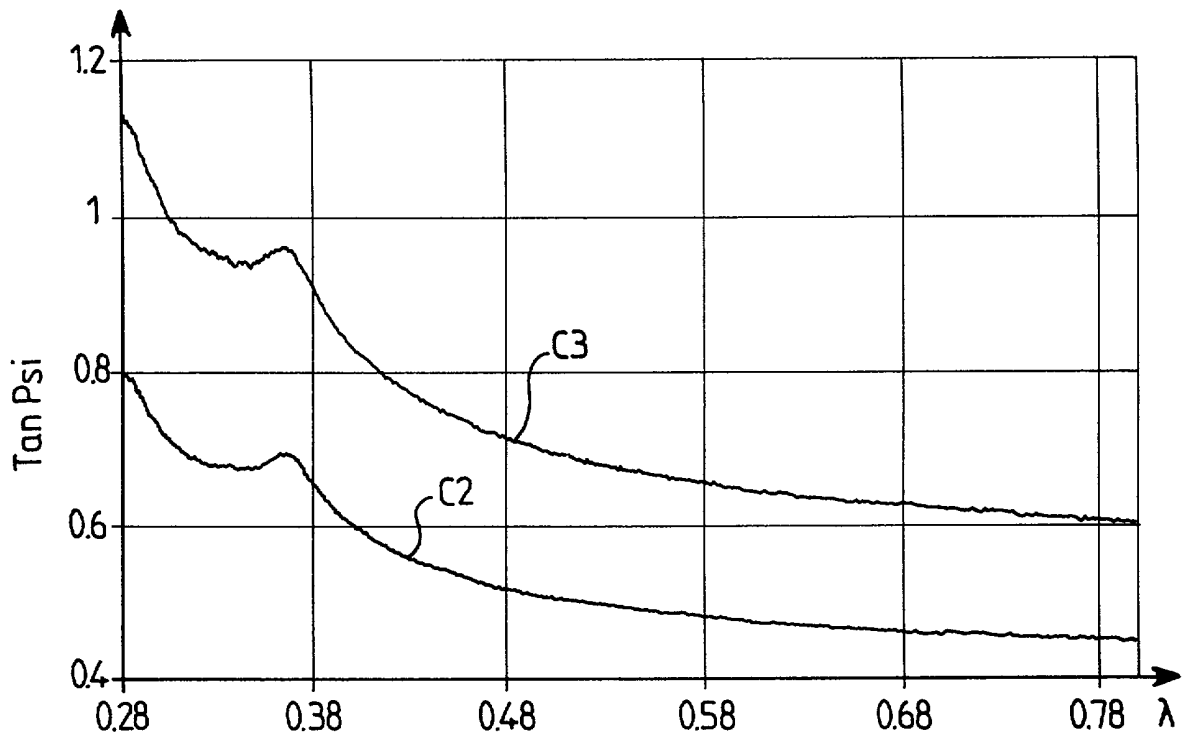


FIG. 7

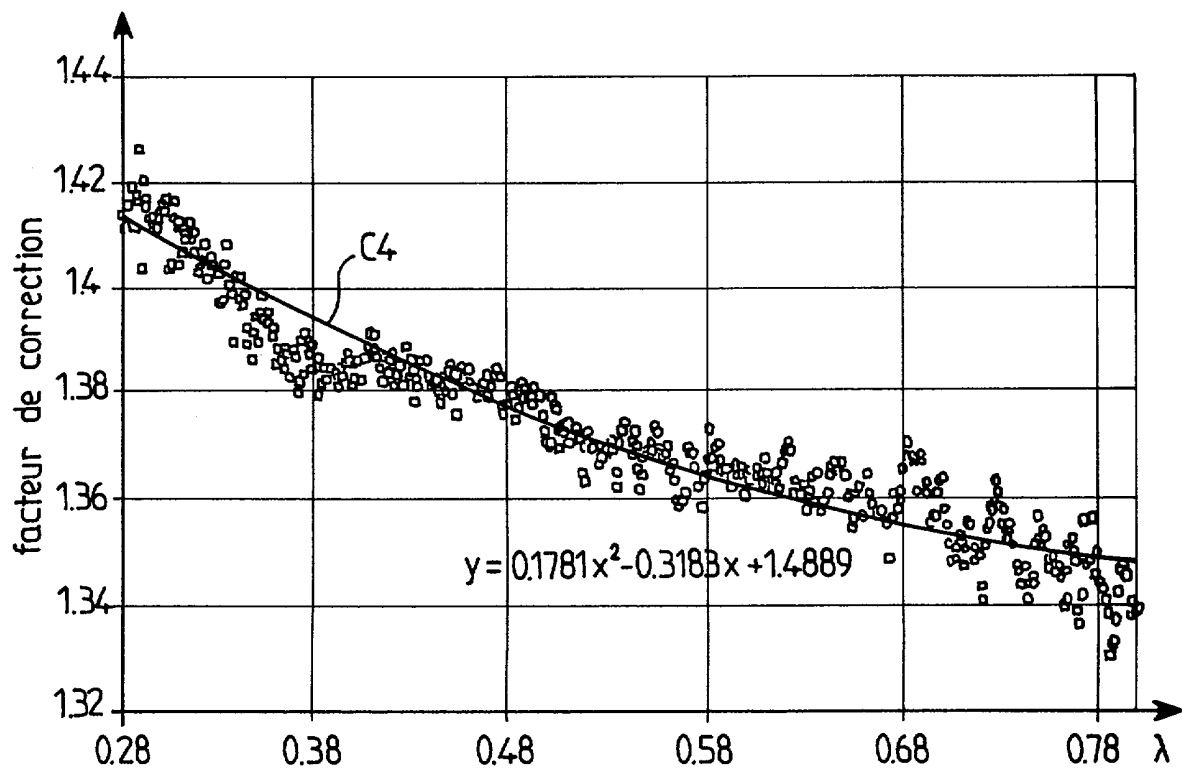


FIG. 8

7/8

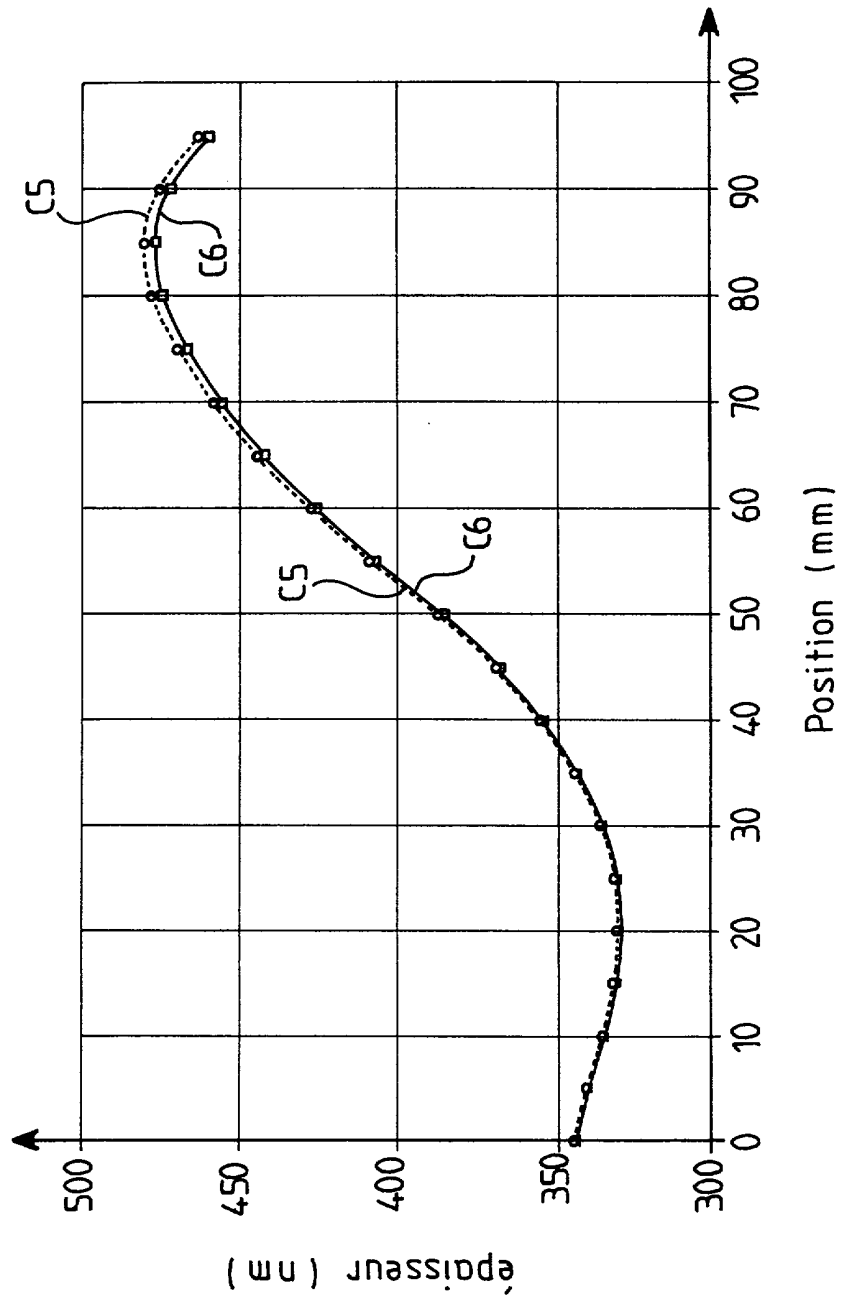


FIG.9

8/8

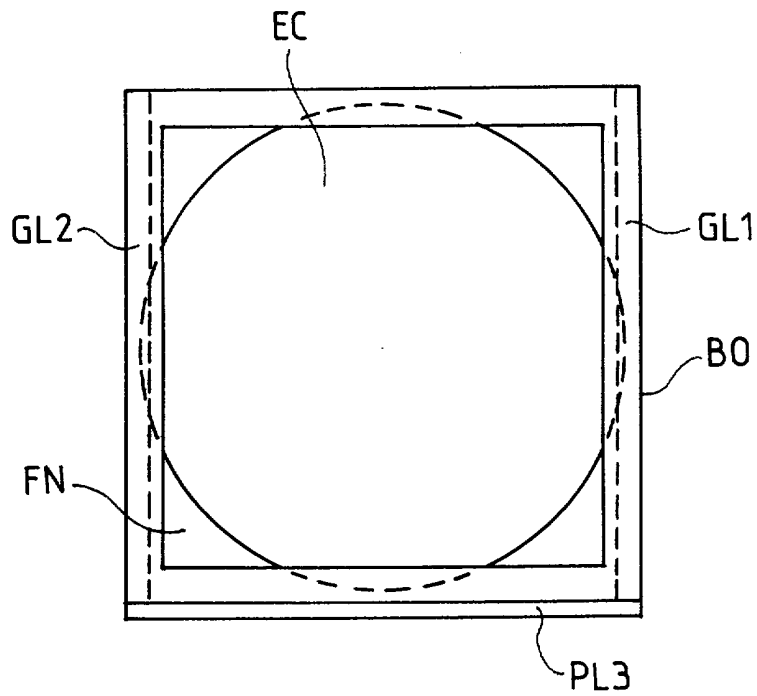


FIG. 10A

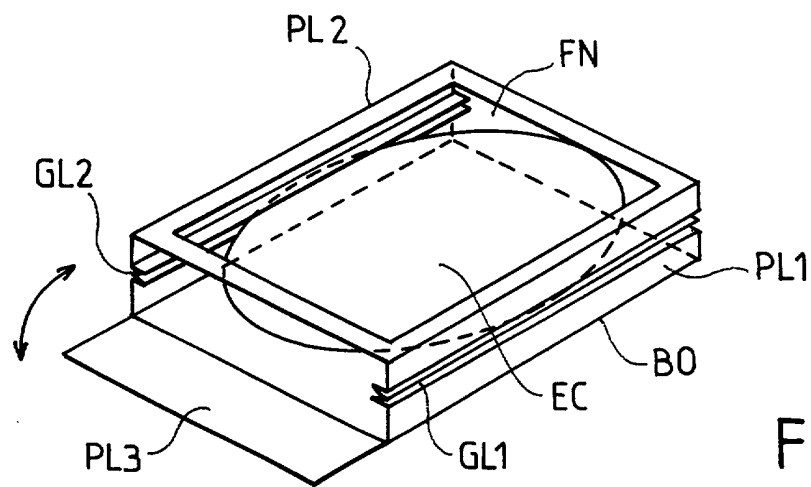


FIG. 10B

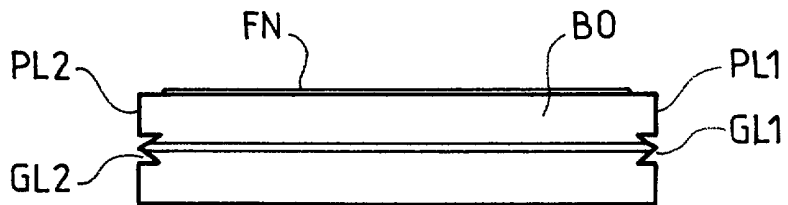


FIG. 10C

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 587619
FR 0006771

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 4 198 261 A (BHASIN KUL B ET AL) 15 avril 1980 (1980-04-15)	1,5,7,17	G01N21/21 H01L21/66
Y	* colonne 2, ligne 5 - ligne 8 * * colonne 2, ligne 57 - ligne 60 * * colonne 3, ligne 3 - ligne 24; figure 1 * ---	2-4,6, 8-16,18, 19	
Y	DE 197 17 885 A (INSTRUMENTS SA) 13 novembre 1997 (1997-11-13) * colonne 1, ligne 3 - ligne 7 * * colonne 5, ligne 16 - ligne 36 * * colonne 8, ligne 57 - ligne 65; figures 1,2 *	2,3,6, 8-12	
Y	US 5 354 575 A (DAGENAIS MARIO ET AL) 11 octobre 1994 (1994-10-11) * colonne 7, ligne 9 - ligne 26 *	4	
Y	US 4 676 644 A (CANTELOUP JEAN) 30 juin 1987 (1987-06-30) * colonne 1, ligne 6 - ligne 8 * * colonne 1, ligne 35 - ligne 66 * * colonne 3, ligne 28 - ligne 29 * * colonne 3, ligne 67 - ligne 68; figure 1 * ---	13,16	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7) G01N G01B G01J
A	DE 197 23 729 A (HEINRICH FRIEDHELM DR) 3 décembre 1998 (1998-12-03) * colonne 1, ligne 46 - ligne 55 * * colonne 2, ligne 36 - ligne 49; figure 2 * --- -/--	5,6,9-12	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
13 février 2001		Navas Montero, E	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire</p> <p>T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant</p>			

1

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

FA 587619
FR 0006771

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	US 5 764 365 A (FINAROV MOSHE) 9 juin 1998 (1998-06-09) * colonne 3, ligne 27 - ligne 47 * * colonne 5, ligne 18 - ligne 22 * * colonne 5, ligne 59 - ligne 65 * * colonne 6, ligne 16 - ligne 20; figure 5 * -----	14, 15, 18, 19	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
13 février 2001		Navas Montero, E	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

1

EPO FORM 1503 12.98 (P04C14)