

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11) N° de publication :

2 904 690

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

21) N° d'enregistrement national :

06 53248

51) Int Cl⁸ : G 01 N 21/21 (2006.01)

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 02.08.06.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 08.02.08 Bulletin 08/06.

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) : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE Etablissement public à caractère industriel et commercial — FR.

72) Inventeur(s) : GIDON SERGE.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : BREVATOME.

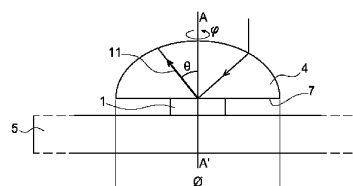
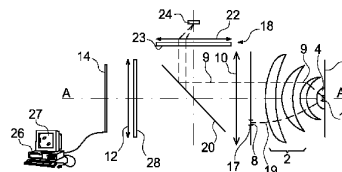
54) DISPOSITIF DE CARACTERISATION D'OBJETS UNIQUES.

57) L'invention concerne un procédé d'examen d'un objet unique (1) comportant:

- la formation d'un faisceau de rayonnement (9) cohérent à l'aide d'une source (24) cohérente,

- l'illumination de l'objet par le faisceau (9) de rayonnement cohérent, focalisé à l'aide de moyens (4) de focalisation placés directement au contact de l'objet ou en position très proche de l'objet,

- la formation, à l'aide de moyens (14) de détection, de l'image de la transformée de Fourier (TF) optique de la lumière diffractée par l'objet.



FR 2 904 690 - A1



DISPOSITIF DE CARACTERISATION D'OBJETS UNIQUES**DESCRIPTION****DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTERIEUR**

5 L'invention concerne le domaine de la
caractérisation - appliquée notamment au besoin de la
micro-électronique - qui permet de déterminer les
formes de motifs en surface d'un substrat. Cette
technique permet une caractérisation sur un objet isolé
10 dit « unique ».

La lithographie, associée à des techniques
de dépôts et gravure, permet de « transférer », par
voie optique, l'image d'un masque, sur lequel sont
représentés des motifs, dans une résine déposée à même
15 la surface de substrats. La résine, une fois insolée,
est développée et sert généralement de masque pour les
processus de gravure et/ou de dépôts qui permettent la
réalisation des étapes de fabrication des circuits
intégrés.

20 La qualité des procédés de photogravure est
contrôlée, en ligne de production, au moyen de divers
procédés de caractérisation répertoriés comme
« Critical Dimension Metrology ». On cherche à mesurer
des dimensions nanométriques (jusqu'à 100 nm) avec des
25 précisions de l'ordre de quelques pour cents.

Une solution est d'observer au MEB
(microscope à balayage électronique) une section des
motifs. Cette approche a l'inconvénient d'être
destructive et pas très rapide. De même, la technique
30 par AFM (microscope à force atomique), même si elle
s'avère non destructive, est consommatrice de temps.

La technique dénommée « Scaterometry » consiste à observer la diffraction induite par des structures périodiques dessinées spécifiquement à ces fins de caractérisation sur le substrat. Ces motifs sont périodiques et se comportent comme des réseaux, dont on analyse l'intensité des divers ordres de diffraction en fonction des angles d'incidence. Cette analyse peut se faire par corrélation des mesures avec un catalogue de données de diffraction théoriques calculées. Une autre possibilité est de faire une régression inverse des données pour essayer de déduire les paramètres clefs d'un modèle de forme attendue.

La technique scatérométrique est mise en pratique de diverses façons. L'une des méthodes consiste en une analyse goniométrique de la diffraction des réseaux éclairés par une source directive [Spectroscopic Critical Dimension (SCD) Metrology for CD Control and Stepper Characterization, John Allgair, KLA-Tencor Corporation, <http://www.kla-tencor.com/company/magazine/fall01/SCD.pdf>]. Cette technique est limitée par le temps d'acquisition des informations qui impose le mouvement mécanique des détecteurs.

Une autre approche consiste à faire cet enregistrement de manière intégrée, au moyen d'un système optique qui forme, sur un détecteur d'images, une cartographie de l'intensité lumineuse suivant deux angles de l'espace, azimut et déclinaison [<http://www.eldim.fr/ezcontrast/semiconductor.htm>].

En fait, le système optique fait, sur le détecteur, l'image du « plan de Fourier » du réseau de caractérisation.

Dans ce type d'appareil, la source utilisée
5 est « étendue » et placée dans le plan de Fourier du réseau objet. Dans ces conditions, le réseau objet est éclairé avec des faisceaux lumineux plus ou moins parallèles entre eux.

Bien que la technique de scaterométrie ait
10 fait ses preuves et soit utilisée de manière quotidienne, elle se heurte à la nécessité de réaliser des motifs spécifiques de caractérisation, formant des réseaux, qui, d'une part, occupent une certaine place sur les tranches ou les substrats et, d'autre part, ne
15 peuvent être placés n'importe où.

Ceci est un problème dans la mesure où, en sens inverse, on cherche de plus en plus à accroître le taux d'occupation de la surface de chaque substrat. En outre, il se pose le problème de trouver un procédé
20 pouvant être mis en œuvre dans toutes les zones ou toutes les parties d'un substrat.

Il se pose également le problème de pouvoir identifier la présence et la forme d'un motif quelconque en surface d'un substrat.

25 **EXPOSÉ DE L'INVENTION**

L'invention concerne une nouvelle technique de scatérométrie, qui permet de faire les mesures sur des objets dits « uniques ». Ceux-ci peuvent être des lignes ou des plots que l'on peut trouver à tout
30 endroit sur une surface d'un substrat et qui résultent de la mise en œuvre d'un procédé de micro-technologie

ou de micro- électronique. Ces lignes ou plots n'ont pas besoin d'avoir été prévus spécifiquement, à la différence des réseaux de caractérisation utilisés dans les techniques connues.

5 Selon l'invention, on observe la figure de diffraction à l'infini générée par un tel objet unique au moyen d'un système optique. Un procédé d'examen selon l'invention comporte :

10 - l'illumination de l'objet, et d'une partie d'un substrat sur lequel il est formé, par un faisceau de lumière spatialement cohérente, provenant de préférence d'une optique à source directive, focalisée sur l'objet avec une forte ouverture numérique,

15 - la formation de l'image de la TF (transformée de Fourier) optique de la lumière diffractée par l'objet.

20 La figure de diffraction obtenue, et donc sa TF optique, est fortement dépendante de l'objet. Celui-ci est par exemple un plot, de forme rectangulaire ou arrondie, ou une bûchette, de forme allongée, ou une tranchée de section rectangulaire ou arrondie.

25 La présente invention concerne donc l'analyse d'un objet « unique » en surface d'un substrat à l'aide d'un faisceau d'une source cohérente focalisé avec des moyens de focalisation à forte ouverture numérique (comprise entre 0,5 et 1,8 ou 3). Cette ouverture dépend de l'indice du milieu considéré
30 et de l'angle d'acceptance des moyens de focalisation.

Cette association entre une source cohérente et des moyens de focalisation à forte ouverture numérique permet de réaliser simultanément toutes les incidences sur l'objet. Avec le maximum
5 d'ouverture, ou avec une forte ouverture, on travaille sur une toute petite zone de l'objet et du substrat environnant. On évite ainsi d'avoir recours à des moyens de sélection d'une incidence particulière.

L'invention concerne également un
10 dispositif pour la mesure de caractéristiques dimensionnelles et/ou structurelles d'un objet unique, comportant :

- des moyens pour illuminer l'objet par un faisceau de lumière cohérente,
- 15 - des moyens de focalisation à forte ouverture numérique, pour focaliser ce faisceau sur l'objet et une partie du substrat environnant,
- des moyens pour former l'image de la transformée de Fourier optique de la lumière diffractée
20 par l'objet et par la partie du substrat qui est illuminée autour de l'objet ; on désignera par la suite l'ensemble illuminé par « objet ».

Les moyens de focalisation à forte
ouverture numérique, ou une partie de ces moyens,
25 peuvent être placés directement au contact de l'objet ou en position très proche de l'objet. La distance entre l'objet et ces moyens de focalisation est de préférence inférieure à quelques dizaines de nm, par exemple inférieure, dans l'air, à 10 nm ou 30 nm ou 50
30 nm ou, en présence d'un film fluide, à 100 nm.

Un liquide d'interface, ou à adaptation d'indice, peut être disposé entre l'objet et la lentille. La distance entre eux est alors d'environ 30 nm à 100 nm.

5 La lentille est par exemple une lentille à immersion solide, dont la proximité par rapport à l'objet et l'indice vont permettre de travailler avec une grande ouverture numérique.

En outre l'utilisation de moyens de focalisation ou d'une lentille proche de l'objet permet
10 de travailler à une longueur d'onde effective d'analyse, au niveau de l'objet, égale à une fraction de la longueur d'onde de la source. Cette utilisation d'une longueur d'onde plus petite permet aisément
15 d'analyser des objets de petites dimensions caractéristiques.

La source est de préférence une source directive, ou de faible étendue géométrique (au sens de l'optique, c'est-à-dire à la fois de surface réduite et
20 de faible divergence), par exemple une source brillante telle qu'un laser ou une LED. Des moyens de polarisation permettent de travailler en lumière incidente polarisée. La focalisation de la source sur l'objet définit la zone éclairée sur celui-ci et sur
25 une partie du substrat qui l'entoure. La définition de cette zone éclairée ne nécessite donc pas de moyens tels qu'un diaphragme disposé sur le trajet en direction de l'objet.

Les moyens d'analyse, ou pour former
30 l'image de la TFO de la lumière diffractée ou réfléchiée par l'objet, permettent d'établir la conjugaison du

plan de l'objet et du plan de sa transformée de Fourier. Une détection d'un ou plusieurs état(s) de polarisation du faisceau réfléchi ou diffracté par l'objet peut être réalisée. Ainsi, des moyens de polarisation d'un tel faisceau peuvent être prévus, permettant éventuellement une analyse de diverses polarisations.

Les figures de diffraction obtenues étant fortement caractéristiques de l'objet, un traitement peut être réalisé en sortie de détecteur ; la vue des seules figures de champ diffracté permet une première caractérisation. Un traitement numérique peut permettre, en outre, de déterminer une esquisse de la forme de l'objet unique.

On peut s'affranchir du phénomène de «speckle», inhérent à la lumière cohérente, en déplaçant l'objet en translation, le long de l'axe optique du dispositif, par rapport au système optique ou par rapport à la lentille proche de l'objet, ce qui induit une rotation de phase de la transformée de Fourier et un brouillage du speckle. On fait varier la distance entre l'objet et les moyens de focalisation ; ou bien la distance, entre l'objet et au moins une partie des moyens de focalisation, reste fixe, et on fait varier la distance entre, d'une part, l'ensemble objet et au moins une partie des moyens de focalisation et, d'autre part, au moins la source cohérente et les moyens de détection. Il est également possible de réaliser un déplacement de l'objet dans le plan objet, ce peut être un déplacement oscillant dans le plan objet, d'une amplitude inférieure au micromètre.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

- Les figures 1A - 1C représentent divers objets, chacun étant unique sur un substrat,
- la figure 2 représente un dispositif
5 selon l'invention,
- la figure 3 représente des détails d'un dispositif selon l'invention,
- les figures 4A et 5A représentent des objets utilisés lors de tests d'un procédé selon
10 l'invention,
- les figures 4B-4D et 5B-5D sont des images de diffraction, respectivement des motifs de la figure 4A et de la figure 4B.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION DE L'INVENTION

15 Un exemple d'un objet unique utilisé dans un procédé selon l'invention est illustré en figure 1A.

L'objet 1 et son support ou substrat 5 proviennent par exemple d'une unité de production de composants tels que ceux utilisés en microélectronique.

20 L'objet 1 repose, ou est formé sur, la surface supérieure 3 du support ou substrat 5.

Ce dernier est en un matériau semi-conducteur, par exemple du silicium ou en SiGe. Ce peut aussi être un empilement de couches tel qu'un SOI. Ce
25 substrat 5 peut être un « wafer » tel qu'utilisé aujourd'hui dans le domaine de l'industrie des semi-conducteurs ou de la micro-électronique. Un tel « wafer » a habituellement une dimension ou diamètre de 200 mm ou 300 mm, et une épaisseur de quelques dizaines
30 ou centaine de μm , par exemple inférieure à 50 μm ou

100 μm ou 200 μm ou 500 μm .

La référence 6 désigne la surface de cet objet unique, sur laquelle un faisceau incident va être focalisé.

5 Dans l'exemple représenté, l'objet unique est une barrette 1 à la surface 3 du substrat 5.

L'objet 1 est dit unique, en ce sens qu'il n'y a pas d'autre objet en surface 3 du substrat 5 à une distance de moins de 2 fois la zone éclairée par le faisceau incident. En fait on adresse un seul objet
10 lors de l'éclairage.

L'objet unique peut avoir d'autres formes. Ce peut être par exemple un plot 60 rectangulaire (figure 1B) ou de forme arrondie, ou une tranchée 61,
15 62 de forme ou de section rectangulaire ou arrondie (figure 1C). Par commodité, deux tranchées sont représentées sur la figure 1C, mais chacune est en principe unique sur le substrat.

A titre d'exemple la plus petite dimension
20 de l'objet (cette dimension est ici mesurée perpendiculairement au substrat 5) est de l'ordre de 300 nm pour une longueur d'onde voisine de 0,4 μm . D'une manière générale, cette dimension minimum est liée à λ . On peut dire que tant les dimensions
25 maximales que les dimensions minimales de l'objet dépendent de la longueur d'onde λ , de l'ouverture numérique et du rapport signal/bruit du signal mesuré.

Comme expliqué ci-dessous, les autres
30 dimensions sont telles qu'elles définissent une surface de taille supérieure à la taille du spot dans le plan 6

du faisceau incident 9. Par exemple l'objet unique est un plot 60, pour lequel chacune des dimensions d , d' (ici : les dimensions latérales de la surface de l'objet sur laquelle il y a focalisation) a une valeur minimale au moins égale à 5 nm.

Un dispositif et d'un procédé sont expliqués de manière plus détaillée en liaison avec la figure 2.

La surface 6 de l'objet 1 est éclairée à l'aide d'un rayonnement ou d'un faisceau 9 provenant d'une source 24. Le spot de ce faisceau incident 9 issu de la source est focalisé sur la surface du motif, comprise dans des plans parallèles au plan 3. Par exemple, un spot 90, 91, 92 est représenté sur chacune des figures 1A, 1B et 1C; ce spot recouvre respectivement la zone délimitée par la surface supérieure du plot 60, ou une zone ou une portion de la tranchée 61, 62, mais également une portion du substrat 5 qui fournit une référence de phase.

Des moyens (par exemple un ensemble de lentilles) formant un objectif de mesure 2 permettent de former l'image de la transformée de Fourier de la surface 6 de l'objet unique 1 dans le plan focal image 8 de cet objectif. On éclaire la surface de l'objet et une partie ou une zone au voisinage de l'objet qui fournit une référence de phase. De préférence on éclaire à peu près autant la surface de l'objet que la surface voisine.

La transformée de Fourier optique (TFO) est une méthode optique permettant d'imager la réponse angulaire d'un objet à une excitation lumineuse.

L'invention permet donc de visualiser cette réponse angulaire de la lumière réfléchie ou diffractée par l'objet.

Un objectif de transfert 10, 12 forme ensuite l'image de la transformée de Fourier de la surface 6 sur un capteur 14 formé de détecteurs.

Cet objectif de transfert comporte par exemple un couple de lentilles 10, 12. La lentille 10 peut être une lentille de champ.

Quant au capteur 14, c'est par exemple une caméra CCD. L'utilisation d'une caméra CCD comme moyens 14 pour former une image permet d'acquérir, en une seule acquisition, autant de données que de pixels illuminés de la caméra CCD.

Le capteur 14 permet de capter l'intensité émise par la surface 6, suivant chaque direction d'émission repérée par le couple (θ, φ) comme illustré sur la figure 3.

Celle-ci représente en détail une vue en coupe du substrat 5, de l'objet 1, des moyens 4 de focalisation, du rayonnement incident 9 incident, et du rayonnement 11 réfléchi ou diffracté par l'objet suivant un angle θ par rapport à l'axe optique AA' du système ; AA' est défini par l'axe optique de l'objectif de mesure 2 et l'objectif de transfert 10, 12.

Dans le plan focal image 8 (figure 2) la distance entre l'axe optique AA' et la zone 17 où se concentrent les ondes planes émises depuis la zone de la surface 6 selon l'angle θ est sensiblement proportionnelle à θ . L'azimut φ correspond à la

direction azimutale d'émission depuis cette même zone de la surface 6.

L'illumination peut se faire à partir d'un plan de Fourier 18 décalé de l'axe optique AA' du dispositif par un plan semi-transparent 20. Un système de lentilles 22 est disposée sur le trajet du faisceau 9 émis par la source 24 pour former un faisceau de lumière parallèle dans le plan de Fourier 8.

Cette source de rayonnement 24 est une source cohérente qui peut être une source ponctuelle brillante telle qu'un laser ou une source quasi ponctuelle comme une LED super radiante. Elle est de préférence placée au foyer d'un système optique 22 de focale suffisamment importante pour que le diamètre du faisceau couvre l'ensemble ou la plus grande partie du plan de Fourier.

Le faisceau incident 9 de la source 24 est focalisé sur l'objet unique 1 par les moyens de focalisation du système 2 disposés sur le trajet de ce faisceau.

Une lentille 4 est disposée au contact ou de l'objet 1 ou en quasi - contact avec cet objet, de manière très proche de celui - ci, à une distance par exemple inférieure à quelques dizaines de nanomètres, par exemple inférieure à 10 nm ou 50 nm ou 100 nm.

Typiquement la lentille 4 est une lentille bouble, avec un méplat 7 (voir figure 3). Elle peut avoir un diamètre Φ de l'ordre de environ 1 mm. L'objet 1 est alors quasiment en contact avec le méplat 7.

L'indice du milieu constituant cette lentille 4 permet d'augmenter l'ouverture numérique en

réduisant d'autant la taille de la zone éclairée. Cette lentille peut être en rutile TiO_2 (d'indice 2,6) ou en diamant (d'indice 2,4).

5 Cette lentille est de préférence de type à immersion solide, ou SIL, ce qui permet de passer la barrière tunnel pour les fortes ouvertures numériques.

La source peut être polarisée à l'aide de moyens 23 de polarisation disposés sur le trajet du faisceau 9 issu de la source 24 en direction de l'objet
10 1. Une polarisation linéaire, ou circulaire ou radiale ou en tore, du faisceau incident 9 peut ainsi être réalisée.

Des moyens 28 formant un dispositif de polarisation peuvent être disposés sur le trajet du
15 faisceau analysé, en direction des moyens 14 permettant de former une image.

Chacun des moyens 23, 28 de polarisation ou chaque polariseur peut comporter 2 lames $\lambda/4$, ou quart d'onde, disposées de manière consécutive
20 (éventuellement commandées électriquement) pour adresser tous les états de polarisation possibles (y compris circulaire, tore...etc.). Des polariseurs linéaires peuvent aussi être utilisés. Les états radiaux sont plus généralement obtenus par des lames
25 $1/4$ d'onde derrière les polariseurs, généralement en cristaux liquides. Les rayons issus de la source 24 sont alors colinéaires (parallèles) à l'axe optique AA' au niveau du plan 8 de Fourier du système optique.

La figure de diffraction à l'infini, que
30 permet d'analyser le système optique décrit ci-dessus, dépend très sensiblement de la forme de l'objet unique.

Un procédé selon l'invention permet d'analyser la forme des objets avec une précision de quelques nanomètres. La figure de diffraction peut être analysée en intensité et en polarisation.

5 A titre d'exemple, on compare les figures de diffraction à l'infini de 2 cas d'objet unique (bûchette, ou objet de forme parallélépipédique, comme sur la figure 1A) qui diffèrent l'un de l'autre par leur épaisseur : l'un a une épaisseur e_1 de $0,05 \mu\text{m}$
10 (mesurée suivant l'axe z de la figure 4A, perpendiculairement au plan 3 du substrat 5 sur lequel l'objet est formé), l'autre a une épaisseur e_2 de $0,1 \mu\text{m}$ (mesurée suivant le même axe z , figure 5A). La longueur d'onde est de $0,5 \mu\text{m}$, l'indice de la lentille
15 SIL de 2 et la largeur de l'objet de 100 nm .

Les figures 4B (respectivement 5B), 4C (respectivement 5C), 4D (respectivement 5D) représentent les grandeurs $||E_x||$, $||E||$, $||E_y||$, pour l'objet de la figure 4A (respectivement 5A), c'est-à-
20 dire la norme de l'amplitude du champ le long de l'axe x (défini par rapport à la direction de polarisation de l'onde incidente), de l'intensité du champ global, et de l'intensité du champ le long de l'axe y (défini comme la direction perpendiculaire à la direction de
25 polarisation de l'onde incidente).

On note, entre ces deux objets, une différence sensible en intensité de la répartition du champ diffracté observé dans le plan de la pupille de l'imageur (correspondant aux figures présentées).
30 L'état de polarisation E_x , utilisé pour éclairer l'objet, puis aussi pour la détection, est

particulièrement sensible à l'objet utilisé, donc ici à l'épaisseur de chaque bûchette. L'information relative à la polarisation E_y est toutefois intéressante dans la mesure où elle peut différer sensiblement en intensité

5 suivant la forme de l'objet.

Si la forme de la bûchette varie, la figure de polarisation varie également.

Si on utilise un objet d'une autre forme, par exemple un plot tel que celui de la figure 1B, ou

10 une tranchée (comme sur la figure 1C) on obtient encore une autre figure de polarisation.

Par des méthodes numériques analogues à celles de la scatérométrie « classique » (directes ou inverses), enrichie d'une analyse en polarisation

15 inspirée de la spectroscopie de Muller [C. Brosseau, Fundamentals of Polarized Light, Willey, 1998], il est possible de déterminer une esquisse de la forme de l'objet unique. On peut mettre en oeuvre la méthode FDTD (« Finite Difference Time Domain ») et on peut

20 reboucler. Par exemple, on fait un calcul direct - par une méthode FDTD - du signal diffracté par un modèle de géométrie d'objet et faire une comparaison avec le signal expérimental, puis faire varier un paramètre de la géométrie pour converger par itérations successives

25 vers la géométrie la plus probable, par minimisation de fonction « de coût ».

Des moyens 26 de traitement numérique des données, par exemple un micro-ordinateur, permettent de traiter les données provenant des moyens de détection

30 ou des moyens permettant de former l'image de la TF optique de la lumière diffractée 19. Ces moyens 26

permettent par exemple de réaliser une image d'une figure de diffraction, telle que celle des figures 4B - 4D, 5B - 5D, pouvant être affichée sur des moyens 27 de visualisation. Compte tenu de la très grande sensibilité de la mesure à la forme de l'objet, un opérateur peut, en fonction de l'image qu'il perçoit, déduire si cette forme est celle attendue.

Il est également possible de mémoriser, par exemple dans des moyens de mémorisation des moyens 26, des images obtenues avec des objets déterminés ainsi que les formes des objets eux-mêmes, ou des données d'images de transformée de Fourier optique, et d'objets correspondants, cet ensemble de données constituant une base de données. Ensuite, pour chaque image obtenue, un programme de recherche permet d'identifier la forme d'objet la plus probable. Peuvent également être prévus des moyens de comparaison d'une image de transformée de Fourier optique, réalisée à partir d'un objet, avec des images mémorisées (dans les moyens de mémorisation de données d'images de transformée de Fourier optique et d'objets correspondants). Ainsi en faisant varier les paramètres (on regarde le paramètre qui ajuste la courbe au mieux) une telle comparaison permet d'obtenir une forme approchée de l'objet. Les moyens 27 de visualisation permettent d'afficher l'image de cette forme. Comme déjà indiqué ci-dessus, la sensibilité du procédé est telle que cette approximation peut être très bonne.

D'autres traitements des données peuvent être réalisés, tels que les méthodes numériques exposées ci-dessus.

Les moyens 4 de focalisation sont en contact ou en quasi-contact avec le motif 1. Il est également possible de mettre un liquide d'adaptation d'indice (par exemple de l'éthylbenzène, d'indice 1,49) entre ces moyens 4 et l'objet 1. La couche d'indice a par exemple une épaisseur d'environ 100 nm.

D'une manière générale, il est souhaitable d'utiliser une longueur d'onde aussi courte que possible pour accroître l'influence de la diffraction. On peut par exemple utiliser une longueur d'onde voisine de 405 nm.

On peut aussi choisir comme source 24 une source de longueur d'onde adaptée pour résonner avec les objets observés (par effet plasmon, par exemple).

Dans le cas particulier des phénomènes plasmoniques, se produisant préférentiellement dans le rouge, il peut être avantageux d'utiliser une source fonctionnant à 650 nm, par exemple.

La forme du faisceau est approximativement circulaire avec une répartition d'intensité qui dépend des états de polarisation choisis à l'aide des moyens 23 de polarisation. Le diamètre ou la taille du spot est de préférence inférieure à 1 μm . Par exemple la FWHM (il s'agit de la largeur totale à mi - hauteur de la courbe d'intensité du faisceau dans le plan voisin de la surface 6 de l'objet) est inférieure à 300nm compte tenu de la profondeur de champ.

Afin d'éviter les structures de speckle liées à l'usage d'une source cohérente, en particulier dans le cas d'une source 24 laser, il est préconisé d'utiliser des moyens (par exemple une unité de

translation piézo - électrique) permettant de réaliser un déplacement relatif de l'objet unique 1 (et, avec lui, du substrat 5), par rapport au système optique, ce dernier comportant, dans l'exemple donné, les moyens 2, 5, 10, 12 de mesure (et les moyens 4). Ce déplacement peut être oscillant sur une plage qui peut être de l'ordre d'une fraction de micromètre, par exemple inférieure ou égale à 0,1 μm , ou à 0,5 μm ou à 1 μm . En effet, une translation dans le plan objet induit une rotation du plan de Fourier. La phase de l'onde diffractée subit alors une rotation qui brouille toute figure de speckel stationnaire. En fait il suffit qu'un des éléments se meuve, toute combinaison est possible à partir de là.

Selon un autre mode de réalisation, des moyens, tels que par exemple décrits dans l'article de L.P.Ghislain et al., Applied Physics Letters, Vol. 74, no 4, 1999, permettent de réaliser une translation relative entre les moyens 4 de focalisation et l'objet 1. Cette translation permet donc de faire varier la distance entre ces deux éléments dans la direction de l'axe optique AA'. La distance entre la lentille 4 et l'objet 1 peut bouger pendant l'acquisition. Ceci permet d'enrichir la signature du signal scaterométrique et de casser, et donc d'éliminer, la cohérence.

Un autre mode de réalisation permet d'éviter les problèmes de glissement des surfaces en contact (les surfaces de la lentille 4 et de l'objet 1). Selon cet autre mode de réalisation, on désolidarise les moyens 4 de focalisation du reste du système optique pour que l'ensemble substrat 5 (avec

l'objet 1) - moyens 4 de focalisation soit déplacé le long de l'axe optique AA', relativement au reste du dispositif de caractérisation (l'amplitude de ce déplacement est de l'ordre du μm). Des moyens 5 permettant de réaliser ce déplacement sont par exemple des moyens piézoélectriques.

L'invention peut être associée à une unité de fabrication de composants tels que ceux réalisés en microélectronique. L'objet 1 provient de cette unité de 10 production, passe devant un dispositif tel que celui décrit ci-dessus en liaison avec les figures, les moyens 26 de traitement de données comportant par exemple un micro-ordinateur spécialement programmé pour mettre en œuvre un procédé de traitement tel que décrit 15 ci-dessus. Un opérateur peut ainsi avoir le résultat de l'analyse sur le lieu même de production et modifier cette dernière en conséquence si l'analyse indique des caractéristiques dimensionnelles et/ou structurelles différentes de celles prévues.

20

REVENDICATIONS

1. Procédé d'examen d'un objet unique (1) sur un substrat (5) comportant :
 - 5 - la formation d'un faisceau de rayonnement (9) cohérent à l'aide d'une source (24) cohérente,
 - l'illumination de l'objet et d'une partie de la surface (3) du substrat (5) par le faisceau (9) de rayonnement cohérent, focalisé sur l'objet avec une
10 forte ouverture numérique,
 - la formation, à l'aide de moyens (14) de détection, de l'image de la transformée de Fourier (TF) optique de la lumière diffractée par l'objet.
- 15 2. Procédé selon la revendication 1, l'ouverture numérique étant comprise entre 0,5 et 3.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, les moyens (4) de focalisation étant placés à une
20 distance de l'objet (1) inférieure à quelques dizaines de nm.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, au cours duquel on fait varier la distance entre
25 l'objet (1) et les moyens (4) de focalisation.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, au cours duquel :
 - 30 - la distance, entre l'objet (1) et les moyens (4) de focalisation, reste fixe,

- on fait varier la distance entre, d'une part, l'ensemble objet (1) - moyens (4) de focalisation et, d'autre part, au moins la source (24) cohérente et les moyens (14) de détection.

5

6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, au cours duquel on réalise un déplacement de l'objet dans le plan objet.

10

7. Procédé selon la revendication 6, le déplacement étant un déplacement oscillant dans le plan objet.

8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel le déplacement a une amplitude inférieure au micromètre.

9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, la source de rayonnement (24) comportant un laser ou une LED.

20

10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, l'objet unique étant un plot (60), de forme rectangulaire ou arrondie, ou une bûchette, de forme allongée, ou une tranchée (61, 62), de section rectangulaire ou arrondie ou prisamitique.

25

11. Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, au cours duquel l'objet (1) et les moyens (4) de focalisation sont placés dans un liquide à adaptation d'indice.

30

12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, le faisceau (9) de lumière cohérente ayant un spot (90, 91, 92) de taille, mesurée sur la surface (3) du substrat (1), inférieure au micromètre.

5

13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 12, le faisceau (9) de lumière cohérente ayant un état de polarisation circulaire ou en tore ou linéaire ou radiale.

10

14. Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, comportant une détection d'un état de polarisation du faisceau réfléchi ou diffracté par l'objet.

15

15. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, les moyens (4) de focalisation comportant une lentille de type à immersion solide.

20

16. Dispositif pour la mesure de caractéristiques dimensionnelles et/ou structurelles d'un objet unique (1), comportant :

- des moyens (24) pour illuminer l'objet par un faisceau (9) de lumière cohérente,

25

- des moyens (4) de focalisation à forte ouverture numérique,

- des moyens (2, 10, 21, 14) pour former l'image de la transformée de Fourier optique de la lumière diffractée par l'objet.

30

17. Dispositif selon la revendication 16, l'ouverture numérique étant comprise entre 0,5 et 3.

18. Dispositif selon la revendication 16 ou 5 17, les moyens (4) de focalisation comportant une lentille de type à immersion solide.

19. Dispositif selon l'une des revendications 16 à 18, les moyens (24) pour illuminer 10 l'objet comportant un laser ou une LED.

20. Dispositif selon l'une des revendications 16 à 19, comportant en outre des moyens pour faire varier la distance entre, d'une part, 15 l'ensemble objet (1) - moyens (4) de focalisation et, d'autre part, les moyens pour illuminer l'objet et les moyens pour former l'image de la transformée de Fourier optique de la lumière diffractée par l'objet.

20 21. Dispositif selon l'une des revendications 16 à 20, comportant en outre des moyens pour faire varier la distance entre l'objet (1) et les moyens (4) de focalisation.

25 22. Dispositif selon l'une des revendications 16 à 21, comportant en outre des moyens pour réaliser un déplacement de l'objet dans le plan objet.

30 23. Dispositif selon l'une des revendications 16 à 22, le faisceau (9) de lumière

cohérente ayant un spot de taille, mesurée à la surface de l'objet, inférieure au micromètre.

24. Dispositif selon l'une des revendications 16 à 23, comportant en outre des moyens (23) de polarisation du faisceau de lumière cohérente.

25. Dispositif selon l'une des revendications 16 à 24, comportant en outre des moyens (28) de polarisation d'un faisceau réfléchi ou diffracté par l'objet (1).

26. Dispositif selon l'une des revendications 16 à 25, comportant en outre des moyens (26) de traitement numérique de données provenant des moyens (2, 10, 21, 14) pour former l'image de la transformée de Fourier optique de la lumière diffractée par l'objet.

27. Dispositif selon l'une des revendications 16 à 26, comportant en outre des moyens (27) de visualisation de l'image de la transformée de Fourier optique de la lumière diffractée par l'objet.

28. Dispositif selon l'une des revendications 16 à 27, comportant en outre des moyens de mémorisation de données d'images de transformée de Fourier optique et d'objets correspondants.

29. Dispositif selon la revendication 28, comportant en outre des moyens de comparaison d'une

image de transformée de Fourier optique, réalisée à partir d'un objet, avec des images mémorisées dans les moyens de mémorisation de données d'images de transformée de Fourier optique et d'objets correspondants.

5
30. Dispositif selon la revendication 29, comportant en outre des moyens (26, 27) pour afficher une image d'un objet dont l'image de la transformée de Fourier optique approche l'image de transformée de Fourier optique, réalisée à partir d'un objet donné.

1 / 4

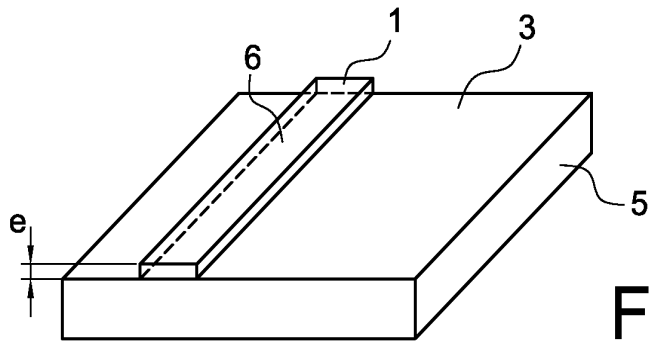


FIG. 1A

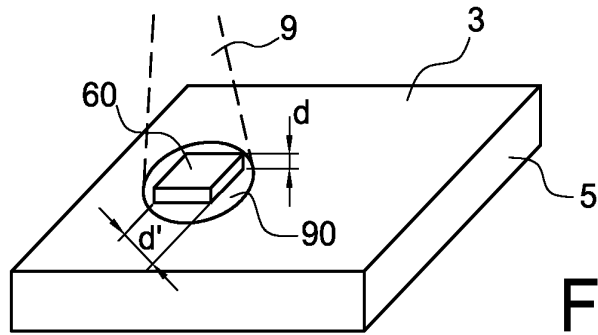


FIG. 1B

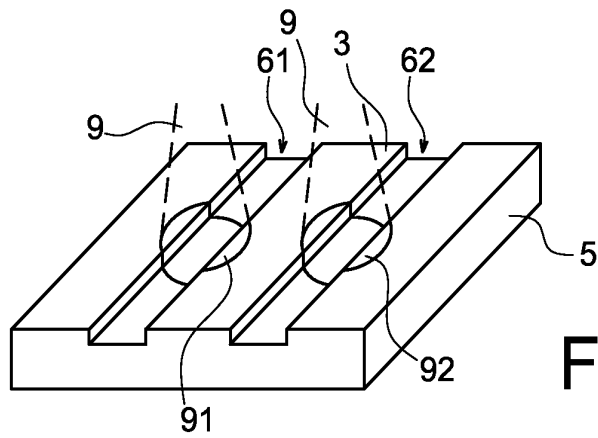
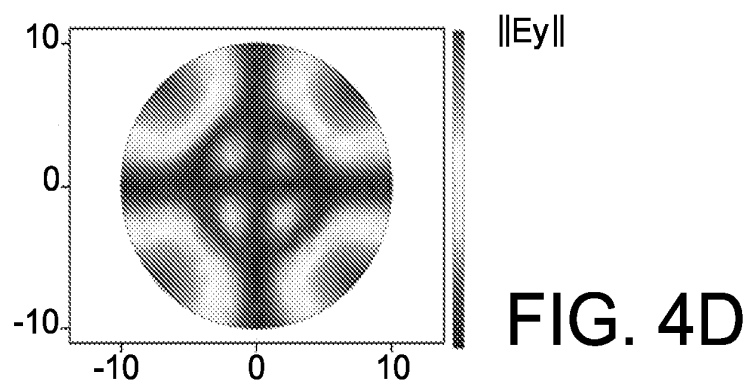
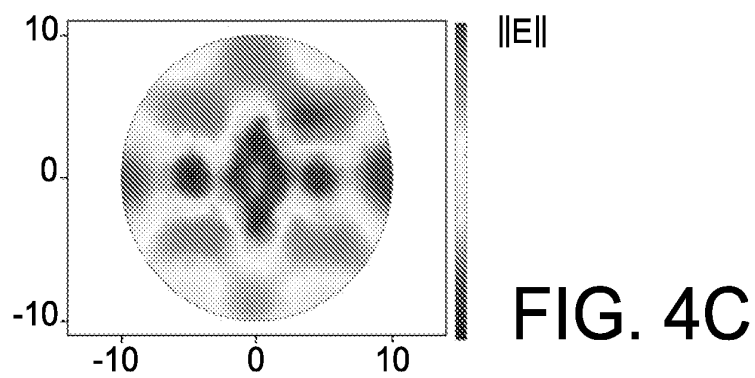
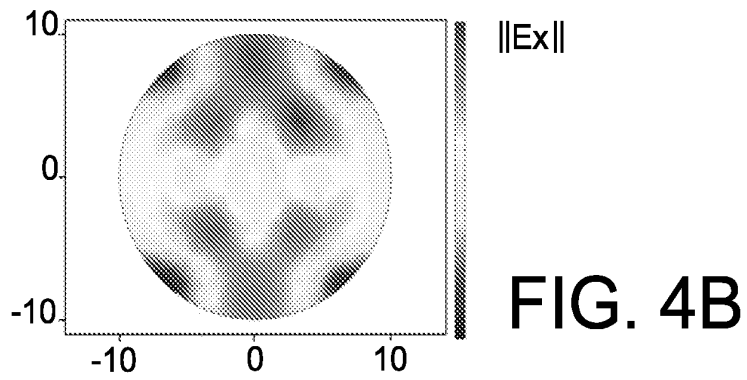
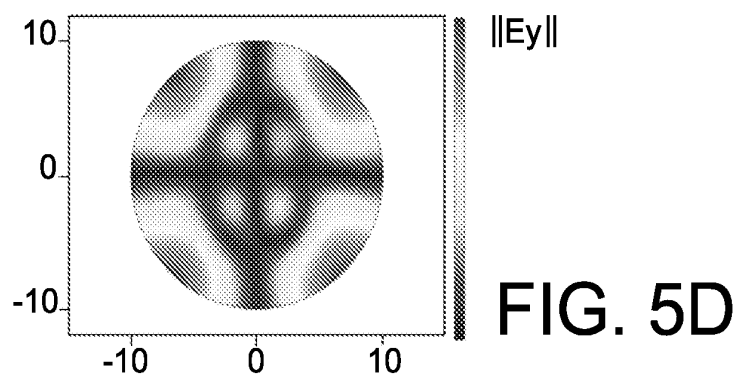
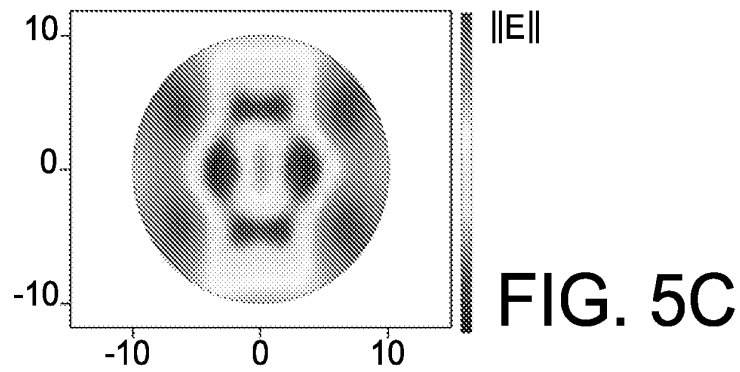
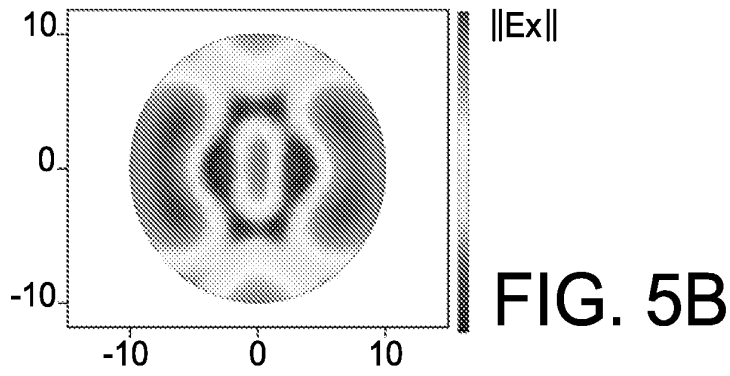


FIG. 1C

3 / 4



4 / 4





**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 682325
FR 0653248

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	WO 2005/026707 A (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]; PETIT JEROME [FR]; CHATON PATRICK) 24 mars 2005 (2005-03-24)	1,9,13, 14,16, 19,24-30	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01N G01B G03F H01L
Y	* page 4, ligne 9 - ligne 29 * * page 6, ligne 9 - ligne 17 * * page 7, ligne 25 - page 9, ligne 6 * * page 11, ligne 7 - ligne 21 * * page 12, ligne 5 - ligne 20 * * page 19, ligne 6 - ligne 19 * * figure 1A.3.4 *	2-4, 10-12, 15,17, 18,21,23	
X	BOHER P ET AL: "Innovative rapid photo-goniometry method for CD metrology" PROCEEDINGS OF THE SPIE, SPIE, BELLINGHAM, VA, US, vol. 5375, no. 1, mai 2004 (2004-05), pages 1302-1313, XP002315685 ISSN: 0277-786X * le document en entier *	1,9,13, 14,16, 19,24-30	
Y	US 2003/227623 A1 (ZHAN QIWEN [US] ET AL) 11 décembre 2003 (2003-12-11) * figure 6 * * alinéas [0091] - [0096] * * alinéa [0106] *	2,3,12, 15,17, 18,23	
Y	US 2004/004726 A1 (SEZGINER ABDURRAHMAN [US] ET AL SEZGINER ABDURRAHMAN [US]) 8 janvier 2004 (2004-01-08) * alinéas [0016], [0032], [0034] - [0037], [0042] * * figure 5a *	2,10,17	
----- -/--			
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
1 mars 2007		Verdoodt, Erik	
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	

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14) 3



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 682325
FR 0653248

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	EP 1 628 164 A (ASML NETHERLANDS BV [NL]) 22 février 2006 (2006-02-22) * alinéas [0036], [0037] * * figure 3 *	2,11,17	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	US 5 428 442 A1 (LIN LAWRENCE H [US] ET AL) 27 juin 1995 (1995-06-27) * colonne 5, ligne 20 - colonne 6, ligne 4 * * figure 1a *	1,9,16, 19	
A	US 5 880 838 A1 (MARX DAVID [US] ET AL) 9 mars 1999 (1999-03-09) * colonne 32, ligne 47 - colonne 33, ligne 62 *	1,16	
D,Y	GHISLAIN L P ET AL: "Near-field photolithography with a solid immersion lens" APPLIED PHYSICS LETTERS, AIP, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, MELVILLE, NY, US, vol. 74, no. 4, 25 janvier 1999 (1999-01-25), pages 501-503, XP012023099 ISSN: 0003-6951 * le document en entier *	4,21	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
1 mars 2007		Verdoedt, Erik	
<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>	

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14) 3

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0653248 FA 682325**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 01-03-2007

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2005026707 A	24-03-2005	EP 1682879 A2 FR 2859781 A1	26-07-2006 18-03-2005
US 2003227623 A1	11-12-2003	AUCUN	
US 2004004726 A1	08-01-2004	EP 1540422 A1 WO 2004006022 A1 US 2005286051 A1 US 2006082792 A1	15-06-2005 15-01-2004 29-12-2005 20-04-2006
EP 1628164 A	22-02-2006	CN 1916603 A JP 2006060214 A KR 20060050488 A SG 120263 A1 US 2006066855 A1 US 2006033921 A1	21-02-2007 02-03-2006 19-05-2006 28-03-2006 30-03-2006 16-02-2006
US 5428442 A1		AUCUN	
US 5880838 A1		AUCUN	