

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

⑫② Date de dépôt : 28.08.89.

⑫③ Priorité :

⑫④ Date de la mise à disposition du public de la demande : 01.03.91 Bulletin 91/09.

⑫⑤ Liste des documents cités dans le rapport de recherche : *Se reporter à la fin du présent fascicule.*

⑫⑥ Références à d'autres documents nationaux apparentés :

⑦① Demandeur(s) : *Agence régionale de développement technologique A.R.D.T. — FR.*

⑦② Inventeur(s) : *De Fornel Frédérique, Goudonnet Jean-Pierre et Cerre Nathalie.*

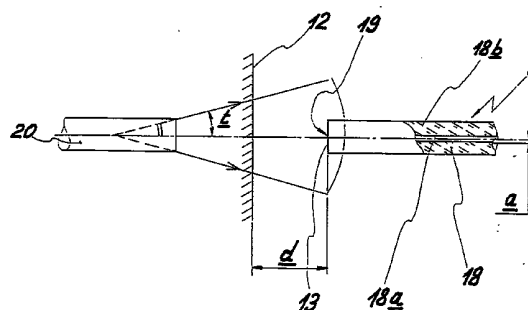
⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire : *Cabinet Guieu Claude.*

⑤④ Microscope en champ proche en réflexion utilisant un guide d'ondes comme sonde de ce champ.

⑤⑦ La présente invention concerne un microscope en champ proche en réflexion du type à balayage d'une surface par une sonde optique, comprenant des moyens conventionnels de déplacement vertical et de déplacement latéral de ladite sonde avec une précision inférieure au nanomètre, caractérisé en ce que cette sonde optique est un guide d'ondes associé à une source générant une onde électromagnétique avantageusement cohérente, l'extrémité de ce guide d'ondes étant placée à une distance d'une surface à étudier telle que l'intensité de l'onde électromagnétique réfléchie par ladite surface, et captée en retour par ladite extrémité du guide d'ondes, varie rapidement en fonction de ladite distance, ce qui procure un moyen pour contrôler ou mesurer cette distance, par exemple par réaction sur les moyens conventionnels de déplacement vertical de ladite sonde optique.

Le domaine de l'invention est plus particulièrement celui de la microscopie à balayage, par des moyens purement optiques, et avec des résolutions nanométriques. On peut également destiner l'invention au contrôle optique de la distance entre une surface donnée et un instrument à déplacer au-dessus de cette surface, et notamment tout instrument du type servant à la microlithographie des circuits intégrés.



L'invention concerne un microscope en champ proche en réflexion utilisant un guide d'ondes comme sonde de ce champ.

La microscopie de champ proche conventionnelle met
5 à profit la structure particulière d'une onde électromagnétique au voisinage d'une ouverture de diamètre inférieur (et jusqu'à une dizaine de fois supérieur) à sa longueur d'onde. Le voisinage doit ici se comprendre comme étant la zone dite de "champ proche" qui
10 est située à une distance de l'ouverture inférieure à la longueur d'onde. Dans cette zone, l'intensité de l'onde décroît très rapidement jusqu'à atteindre la valeur de l'intensité dans la zone dite de "champ lointain" qui est calculable, d'une manière connue, par application des
15 équations de Maxwell.

Cette décroissance très rapide de l'intensité en fonction de la distance à l'ouverture permet de relever très finement la topographie de la surface d'où est émise ou réémise la lumière, chaque variation d'intensité
20 mesurée par des moyens appropriés correspondant à une variation de distance.

On connaît de nombreux dispositifs fonctionnant suivant ce principe, aussi bien en transmission qu'en réflexion. Notamment, dans le brevet européen EP-112 401
25 déposé le 27 décembre 1982 au nom de International Business Machines Corporation, il est plus particulièrement remédié au problème de l'obtention d'une ouverture de diamètre faible, typiquement inférieur au micromètre, utilisable dans un microscope en champ proche
30 optique. Dans une variante décrite dans ce document, l'ouverture reçoit la lumière transmise au travers d'un échantillon à analyser, celui-ci étant maintenu à une distance appropriée par un moyen conventionnel, tel qu'une sonde électronique mesurant un courant tunnel.

35 L'utilisation d'une telle sonde électronique rend néanmoins nécessaire la métallisation de l'échantillon à analyser, l'ouverture submicronique étant quant à elle

déjà métallisée puisqu'elle est délimitée par une couche épaisse de métal, opaque au rayonnement de l'onde électromagnétique de mesure.

5 Cette double métallisation, de l'échantillon d'une part, et de la sonde optique constituée par l'ouverture submicronique d'autre part, possède de graves inconvénients.

10 En effet, la métallisation d'échantillons organiques, ou plus généralement diélectriques, peut constituer une gêne pour l'observation de certains phénomènes, notamment les phénomènes dynamiques ou vivants. Par ailleurs, cette métallisation peut être hétérogène ou cacher des structures de petite échelle par recouvrement. En outre, en cas de discontinuité de la
15 couche superficielle conductrice, le contrôle de la distance à l'ouverture n'est plus assuré, ce qui conduit à une aberration topographique.

On a enfin constaté que les parois métalliques de l'ouverture submicronique et la surface métallisée de
20 l'échantillon constituent une cavité résonante génératrice d'interférences qui viennent moduler l'intensité mesurée derrière cette ouverture et troubler cette mesure.

Par ailleurs, l'obtention d'une ouverture d'un
25 diamètre submicronique constitue la difficulté principale de réalisation de ce type de microscope, et en limite le développement. En effet, la fabrication répétitive d'une ouverture submicronique, notamment pour un microscope en champ proche en transmission, est particulièrement
30 délicate à mettre en oeuvre et fait d'ailleurs l'objet d'une solution décrite dans le brevet européen EP-112 402 déposé le 27 décembre 1982 par la société International Business Machines Corporation. Les diamètres des ouvertures réalisées par le procédé décrit dans ce
35 document se situent dans une fourchette allant de 10 à 500 nanomètres. La résolution horizontale d'un microscope en champ proche équipée d'une telle ouverture dépend

alors directement de son diamètre et de sa distance à l'échantillon - la résolution est de l'ordre de la plus grande de ces deux quantités -.

Les mêmes difficultés de mise en oeuvre existent
5 pour le microscope en champ proche en réflexion. Pour ce type de microscope, on a développé des sondes optiques spécifiques fonctionnant en émission et en réception, et notamment celle décrite dans le brevet européen EP-185 782 déposée le 28 décembre 1984 au nom de la société
10 International Business Machines Corporation. Dans ce dernier document, il est décrit un guide d'ondes composite dont la section terminale est annulaire de manière à présenter :

- une première ouverture submicronique, délimitée
15 par une couche métallique opaque, fonctionnant en émission,

- et un anneau périphérique transparent, délimité par la première couche opaque et une seconde couche métallique opaque, fonctionnant en réception.

20 La mesure de la lumière réfléchie s'effectue de cette manière au travers du guide d'ondes périphérique planaire que constitue l'anneau périphérique transparent ; cette configuration est défavorable à une mesure fiable dans la mesure où une telle structure
25 planaire introduit inévitablement des modes de propagation électromagnétiques indésirables.

La présente invention vise à remédier à tous ces inconvénients en proposant un microscope en champ proche en réflexion utilisant la décroissance rapide, en
30 fonction de la distance, d'une onde électromagnétique captée à l'extrémité d'un guide d'ondes du type d'une fibre optique ; cette onde est l'onde réfléchie, par une surface réfléchissante à étudier, d'une onde préalablement émise par ledit guide d'ondes vers ladite
35 surface. La distance considérée est celle qui existe entre la surface réfléchissante et l'extrémité du guide d'ondes, qui joue donc le rôle d'une sonde optique.

L'intensité de l'onde réfléchie dépend directement du couplage qui s'établit dans le guide d'ondes entre le mode propre de propagation électromagnétique dudit guide d'ondes et le mode de propagation électromagnétique du
5 champ électrique de l'onde réfléchie. On a calculé et vérifié expérimentalement que ce couplage, et donc l'intensité mesurée, décroît très rapidement avec la distance séparant l'extrémité du guide d'ondes et la surface réfléchissante ; il est donc possible de
10 contrôler ou de mesurer avec précision cette distance, représentative de la topographie de ladite surface - les domaines d'application d'un tel microscope en champ proche en réflexion, utilisant un guide d'ondes comme sonde optique, sont donc tout à fait comparables aux
15 domaines d'application du microscope à balayage à effet tunnel qui sont maintenant bien connus -. Il convient de noter que le coefficient de réflexion de la surface dépend également de sa nature, et notamment de son indice optique ; l'étude spectroscopique de cette surface est
20 donc réalisable.

La simplicité de mise en oeuvre du microscope conforme à l'invention est grande puisqu'il n'est pas nécessaire de fabriquer une ouverture de diamètre submicronique, ni de métalliser le guide d'ondes ou
25 l'échantillon à étudier.

On peut ainsi utiliser une simple fibre optique, par exemple à saut d'indice du type monomode, comme guide d'ondes. Cette fibre est cassée en bout, de manière à présenter, en regard de la surface réfléchissante à
30 étudier, une surface plane qui soit sensiblement perpendiculaire à l'axe longitudinal de propagation d'une onde électromagnétique dans le coeur de ladite fibre ; cette perpendicularité n'est pas obligatoire mais on a montré qu'il s'agit du cas le plus favorable pour
35 l'obtention d'une bonne résolution (cas où la décroissance de l'intensité réfléchie et recueillie dans la fibre est la plus rapide en fonction de la distance).

En outre, ce cas permet seul d'obtenir une mesure absolue de l'origine des distances (par contact entre la surface plane terminale de la fibre et la surface à étudier).

Suivant une caractéristique complémentaire de l'invention, l'onde électromagnétique émise et l'onde électromagnétique réfléchie se propagent en sens contraires dans la fibre optique, ou plus généralement dans le guide d'ondes servant de sonde optique ; la séparation de ces deux ondes est effectuée par un coupleur optique bidirectionnel, par exemple à fibres optiques monomodes, ce coupleur pouvant être réalisé par fusion/étirage desdites fibres suivant une méthode décrite dans le brevet français 85-13 897 déposé le 19 septembre 1985 au nom du Centre National de la Recherche Scientifique. Un tel coupleur est disponible commercialement et permet :

- d'émettre, dans une première voie de transmission en entrée du coupleur, 100% de l'intensité d'une lumière émise par une source telle qu'un laser,
- de récupérer (100-X)% de cette intensité dans une première voie de transmission en sortie du coupleur, l'émission de lumière vers la surface à étudier s'effectuant à l'extrémité de ladite première voie,
- de récupérer la lumière réfléchie par ladite surface dans la même première voie dudit coupleur,
- de transmettre (100-X)% de l'intensité de la lumière couplée en retour dans ladite première voie vers une deuxième voie de transmission en entrée du coupleur,
- un détecteur de photons, tel un photomultiplicateur, permettant de mesurer l'intensité finalement transmise par ladite deuxième voie de transmission en entrée du coupleur à son extrémité.

Le cas le plus favorable est celui où le coupleur optique est construit pour que X soit égal à 50.

La configuration conforme à l'invention associant une fibre optique conventionnelle à un coupleur optique approprié, la fibre étant déplacée dans la zone de "champ

proche" d'une onde électromagnétique émise par cette fibre et réfléchiée par une surface à étudier située à une distance de la face de sortie de la fibre inférieure à la longueur d'ondes, résout ainsi avantageusement tous les
5 inconvénients liés aux microscopes de champ proche précédemment mentionnés.

D'autres caractéristiques et avantages du microscope conforme à l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre d'un mode de réalisation
10 donné à titre d'exemple non limitatif de ce microscope, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue très schématique d'un microscope conforme à une variante préférée de réalisation de l'invention,
- 15 - la figure 2 est une vue détaillée de l'extrémité du guide d'ondes utilisé préférentiellement dans l'invention en regard avec une surface à étudier, et montrant plus particulièrement le couplage de l'onde réfléchiée dans le guide d'ondes,
- 20 - la figure 3 représente un faisceau de courbes théoriques, comparées à une courbe expérimentale, montrant la dépendance entre l'intensité recueillie dans le guide d'ondes et la distance entre la surface à étudier et la face de sortie dudit guide,
- 25 - la figure 4 représente la variation de la profondeur de pénétration de l'onde électromagnétique utilisée dans une variante de l'invention en fonction du rayon du coeur de la fibre optique utilisée comme guide d'ondes.

30 Conformément à la figure 1, et suivant une variante préférée de l'invention, un microscope en champ proche 1 est principalement constitué :

- par une source de lumière 2, telle qu'une cavité laser, ou une diode électroluminescente (par exemple "à
35 bande étroite"), couplée à une fibre 3 par des moyens optiques 4 appropriés. Ces moyens 4 peuvent par exemple être une simple lentille convergente à courte focale du

type à fort grossissement pour microscope optique conventionnel.

- par un coupleur optique 5 à fibres optiques, réalisé par exemple par un procédé de fusion/étirage, ce coupleur 5 comportant deux voies de transmission 6 et 7 en entrée et deux voies de transmission 8 et 9 en sortie. La fibre optique 3 peut avantageusement être celle qui constitue la voie 6 du coupleur 5 - de cette manière, on conserve la qualité de l'onde électromagnétique émise par la source 2 sur tout son trajet, en évitant les interfaces fibre/fibre -.

- par un détecteur de photons 10, tel que par exemple un photomultiplicateur, couplé à la voie 7 du coupleur de fibres 5. Ce détecteur 10 reçoit et mesure la lumière se propageant dans le coupleur 5 dans le sens inverse de celui de l'émission.

- par un support antivibratoire conventionnel 11, associé éventuellement à un moyen conventionnel de balayage ; ce moyen de balayage, de précision typiquement micrométrique, permet de faire balayer latéralement la surface réfléchissante 12 à étudier par l'extrémité 13 de l'une des voies 8 ou 9 du coupleur 5, par exemple la voie 8 (dans ce cas, la voie 9 n'est pas utilisée).

- par un moyen conventionnel de positionnement vertical 14 de l'extrémité 13 de la voie 8 par rapport à la surface réfléchissante 12. Ce moyen de positionnement vertical 14 peut également servir au déplacement latéral "fin" - c'est-à-dire submicrométrique - de l'extrémité 13. Il peut être relié, par un dispositif à contre-réaction 15, à un micro-ordinateur 16, contrôlant notamment le signal reçu par le détecteur 10 ; ce signal représente l'intensité de la lumière se propageant en retour dans le coupleur 5.

On notera que le moyen de positionnement 14 peut être un dispositif comportant, par exemple, un tube piezoélectrique, ou un ensemble de cristaux

piezoélectriques agencés de manière appropriée (du type connu notamment sous le nom de "bimorphs").

Dans ces conditions, l'utilisation du microscope 1 peut être ainsi résumée. La lumière issue de la source 2 se propage à travers la fibre 3 constituant la voie 6 du coupleur 5, jusqu'à la zone de couplage 17 dudit coupleur 5, où on a effectué la fusion/étirage des fibres composant ledit coupleur 5. Une partie connue de la lumière (par exemple 50%) se propage alors dans la voie de transmission 8 de sortie du coupleur 5, jusqu'à l'extrémité 13 de ladite voie 8.

Conformément à la figure 2, la voie 8 est une fibre optique 18 à saut d'indice, avec n_0 l'indice réel du coeur 18a et n_1 l'indice de la gaine 18b. L'extrémité 13 de cette fibre 18 se présente sous la forme d'une face plane 19 sensiblement perpendiculaire à la direction de propagation de la lumière dans ladite fibre 18. La lumière est alors émise vers la surface réfléchissante 12, dont la topographie et la composition sont inconnues, puis elle se réfléchit et revient en direction de l'extrémité 13 où elle se couple au mode propre de propagation de la fibre 18.

La lumière se propageant en retour dans la voie 8 est ainsi modulée par la surface réfléchissante 12. Elle traverse alors la zone de couplage 17 du coupleur 5 et une partie de l'intensité de cette lumière (par exemple 50%) passe dans la voie 7 dudit coupleur 5 où elle est détectée en bout par le détecteur 10.

On comprendra mieux les mécanismes physiques mis en jeu en considérant, conformément à la figure 2, la structure des ondes électromagnétiques émise et réfléchie dans la zone de "champ proche" située entre la face plane 19 de l'extrémité 13 de la fibre 18 et la surface réfléchissante 12.

On montre, par la résolution des équations de Maxwell combinées à des conditions aux limites appropriées, que seule varie la composante radiale du

champ électrique d'une onde électromagnétique se propageant dans la fibre 18, et qu'elle s'écrit sous la forme :

- équation (i) : $J_0(ur/a)$

5 à l'intérieur du coeur 18a de rayon a de la fibre 18,

- équation (ii) : $(J_0(u)/K_0(v)) * K_0(vr/a)$

à l'extérieur du coeur 18a et à l'intérieur de la gaine 18b de la fibre 18,

10 avec r le rayon, u et v vérifiant des équations spécifiques fonctions de a , des indices du coeur 18a et de la gaine 18b, et des constantes de propagation de l'onde électromagnétique (vecteurs d'onde). Les fonctions J_0 et K_0 sont les fonctions de Bessel d'ordre 0.

15 La lumière est émise en bout de la fibre 18 dans un cône d'ouverture numérique qui dépend du saut d'indice ($n_1 - n_0$) de ladite fibre 18. La lumière réfléchie par la surface réfléchissante 12 peut être considérée comme provenant d'une fibre virtuelle 20 symétrique de la fibre
20 18 par rapport au plan délimité par ladite surface 12. Sur la figure 2, on a représenté la lumière réfléchie, issue de la fibre virtuelle 20, avec un angle d'ouverture θ . On a également représenté par d la distance séparant la surface réfléchissante 12 de la face plane 19 de
25 l'extrémité 13 de la fibre 18.

Dans ces hypothèses, seule varie la composante radiale du champ électrique de l'onde électromagnétique réfléchie issue de la fibre virtuelle 20, cette variation s'écrivant de la même façon que la variation radiale de
30 l'onde incidente issue de la fibre 18 ; tout se passe alors comme si la fibre virtuelle 20 avait un coeur de rayon égal à a/α , α étant un facteur géométrique tenant compte de la divergence dans l'air du mode de propagation de l'onde réfléchie. Il convient donc de
35 remplacer a par a/α dans les équations (i) et (ii) pour trouver les expressions de la composante radiale du champ électrique de l'onde réfléchie.

L'intensité recueillie par le détecteur 10 est proportionnelle au couplage entre le mode de propagation de l'onde réfléchie dans l'air et le mode propre de propagation de la fibre 18 ; on détermine la valeur de ce
5 couplage, par exemple numériquement, en calculant l'intégrale de recouvrement des deux modes. En prenant, comme hypothèse supplémentaire, le cas d'une ouverture numérique constante, ce qui est tout à fait réalisable, on a obtenu un faisceau de courbes, représenté et
10 référencé sur la figure 3, montrant la dépendance existant entre l'intensité recueillie sur le détecteur 10 et la distance d .

On constate la décroissance très rapide de l'intensité en fonction de la distance d .

15 Cette propriété est comparable à la propriété de décroissance très rapide de l'intensité au voisinage d'une ouverture de diamètre inférieur à la longueur d'onde, qui est utilisée dans un microscope en champ proche conventionnel. La décroissance résulte alors du
20 couplage de trois ondes évanescentes, l'une créée en incidence par l'ouverture, la deuxième réfléchie par la surface à étudier, et la troisième créée en réflexion par cette même ouverture.

On notera que le "champ proche" d'une fibre
25 utilisée dans les conditions de l'invention est plus "étalé" que le champ proche d'une ouverture submicronique, et on constate en particulier que la distance d peut être très supérieure à la longueur d'ondes de l'onde électromagnétique émise par la source
30 2.

Les applications d'une décroissance rapide de l'intensité sont les mêmes dans les deux cas, c'est-à-dire concernant l'étude spectroscopique et l'étude topographique des surfaces, avec une résolution améliorée
35 d'au moins un ordre de grandeur par rapport à la microscopie optique classique (qui est limitée par la diffraction).

Afin de comparer les capacités d'un microscope à champ proche conventionnel et du microscope 1 conforme à l'invention, il convient de comparer leurs résolutions respectives, tant verticale que latérale.

5 a) Résolution verticale

Il est courant d'assimiler à une décroissance exponentielle la décroissance rapide de l'intensité de "l'onde de mesure" (c'est-à-dire de l'onde transmise dans le cas d'un microscope en transmission, ou de l'onde
10 réfléchie dans le cas d'un microscope en réflexion) en fonction de la distance séparant la surface 12 à étudier et l'extrémité de la sonde optique servant à capter ladite "onde de mesure" (ouverture submicronique dans un cas, et fibre optique 18 dans l'autre cas). L'hypothèse
15 de la décroissance exponentielle peut souvent être vérifiée expérimentalement, au moins dans un domaine de distance qu'on pourra ainsi utiliser. L'intensité de "l'onde de mesure" peut alors s'écrire:

$$\text{équation (iii)} \quad I = I_0 \exp(-2d/d_p)$$

20 On a coutume de nommer d_p la profondeur de pénétration de "l'onde de mesure" ; elle caractérise la résolution verticale qu'il est possible d'obtenir avec le microscope utilisé.

a1) Pour le microscope en champ proche
25 conventionnel, il a été démontré que cette résolution se situe dans une fourchette allant de quelques nanomètres à quelques centaines de micromètres

a2) Dans le cas du microscope 1 conforme à l'invention, on a représenté, sur la figure 4, la
30 variation de la quantité d_p en fonction du rayon a du coeur 18a de la fibre optique 18, constituant la voie 8, et servant de sonde optique pour ce microscope 1 (la source de lumière 2 était un laser Hélium-Néon émettant à une longueur d'onde de 632 nanomètres, et l'ouverture
35 numérique était constante et égale à 2,3). On remarque que la profondeur de pénétration d_p décroît sensiblement avec le rayon a du coeur 18a de la fibre optique 18.

Cette courbe théorique a été vérifiée expérimentalement en quelques uns de ses points, et notamment pour une fibre 18 de rayon a de coeur égal à 2,5 micromètres, et de diamètre de gaine égal à 125 micromètres ; pour une
5 telle fibre 18, d_p est égale à une valeur proche de 40 micromètres. Sur la figure 3, on a également comparé le faisceau de courbes théoriques à la courbe E représentant la décroissance expérimentale de l'intensité de l'onde réfléchie dans les conditions précédemment mentionnées.

10 On peut diminuer notablement cette valeur de 40 micromètres en jouant sur divers paramètres :

- en diminuant la longueur d'ondes de l'onde émise par la source de lumière 2, la limite en longueur d'ondes étant donnée par l'existence des sources à faible
15 longueur d'onde et par la longueur d'onde dite "de coupure" en deça de laquelle un rayonnement électromagnétique ne peut pas se propager dans la fibre 18 (actuellement 180 nanomètres pour une fibre en silice).

20 - en diminuant le rayon a du coeur 18a de la fibre optique 18, par exemple par étirage de l'extrémité 13 de ladite fibre 18 - on peut aller jusqu'à un diamètre de coeur égal à 500 nanomètres sans problème, la résolution étant dégradée au-delà, en raison de "l'élargissement" du
25 mode de propagation propre dans la fibre 18 lorsque le coeur 18a est d'un diamètre trop petit -.

- en faisant varier de manière adéquate les caractéristiques géométriques de la fibre 18, c'est-à-dire ses indices de coeur et de gaine, n_0 et n_1 , de
30 manière à faire varier son ouverture numérique.

On peut estimer que la meilleure résolution verticale qu'il est possible d'atteindre avec le microscope 1 conforme à l'invention est proche de 10 nanomètres, pour une fibre 18 en silice dont le coeur 18a
35 a un diamètre de 500 nanomètres, et pour une onde électromagnétique "de mesure", de longueur d'ondes égale

à 205 nanomètres, issue d'un laser à colorant, et doublée en fréquence au moyen de cristaux non linéaires.

Etant observée la simplicité de mise en oeuvre du microscope 1 conforme à l'invention, cette résolution
5 constitue la meilleure résolution jamais atteinte à ce jour pour l'observation de surfaces difficilement métallisables.

b) Résolution latérale

b1) La résolution latérale d'un microscope en champ
10 proche conventionnel se situe à l'intérieur d'une fourchette allant de quelques dizaines de nanomètres à quelques millimètres. Elle est déterminée, comme on l'a déjà dit, par la taille de l'ouverture servant de sonde optique, et par les phénomènes d'interférence se
15 produisant du fait de l'excitation des modes de la cavité constituée par les parois métallisées de la surface 12 observée et le trou délimité par un matériau opaque conducteur.

b2) On a montré expérimentalement que la résolution
20 latérale du microscope 1 conforme à l'invention est nettement inférieure au diamètre 2a du coeur 18a de la fibre optique 18 constituant la voie 8 du coupleur 5. Dans le cas où ce diamètre est égal à 5 micromètres, on a pu observer une surface réfléchissante 12 constituée par
25 un réseau industriel au pas de 12 micromètres avec une résolution latérale meilleure que 500 nanomètres (une telle résolution a, en outre, été obtenue par exploitation de l'enregistrement direct de l'intensité de l'onde réfléchie et transmise par le coupleur 5, sans
30 traitement mathématique postérieur courant en pareil cas et visant à extraire de la mesure le bruit ou les dérives répétitives). La longueur d'onde de "l'onde de mesure" était de 632 nanomètres (laser Hélium-Néon).

On constate donc que, contrairement au microscope
35 en champ proche conventionnel, la résolution latérale est largement inférieure au diamètre 2a du coeur 18a de la fibre 18 servant de sonde optique (ce diamètre est

l'équivalent du diamètre de l'ouverture dans le cas du microscope conventionnel).

On peut ainsi raisonnablement appliquer un facteur d'échelle à ces résultats, et avec la même source 2 et une fibre 18 dont le diamètre de coeur vaut 500 nanomètres, on peut obtenir une résolution latérale meilleure que 50 nanomètres.

On doit également noter que la mesure précédemment mentionnée a été effectuée dans des conditions expérimentales défavorables pour lesquelles le moyen conventionnel de positionnement vertical 14 (fig.1) de l'extrémité 13 de la fibre 18 par rapport à la surface réfléchissante 12 n'était assujetti à aucune contre-réaction (par exemple au moyen du dispositif à contre-réaction 15) ; or on sait tout le bénéfice que l'on peut tirer, vis à vis de la précision, d'une telle contre-réaction, qui permet au détecteur 10 d'enregistrer un signal variant de manière très sensible, du fait que l'on maintient alors la distance d à une valeur correspondant à la zone de forte décroissance de l'intensité de l'onde réfléchie et transmise par le coupleur 5.

Suivant une autre variante de réalisation du microscope en champ proche 1 objet de l'invention, la résolution verticale (et de même la résolution latérale) peut être encore augmentée. Dans cette variante, on utilise, comme sonde optique, une fibre optique 18 à laquelle on fait subir une attaque chimique de manière à en effiler l'extrémité 13 ; après cette attaque chimique (réalisée de manière connue au moyen d'un acide), l'extrémité de la fibre optique 18 est coupée de manière à présenter une face plane 19 sensiblement perpendiculaire à la direction de propagation de la lumière dans ladite fibre 18. L'extrémité 13 se présente alors comme une pointe, et la gaine 18_b, entourant le coeur 18_a de la fibre optique 18, est très amincie. De cette façon, le mode de propagation principal à l'intérieur de la fibre 18 peut être très étroit ; en

effet, une onde se propageant à l'extrémité 13 de la fibre optique 18 "voit" alors trois milieux :

- le coeur 18a, d'indice optique n_0 ,
- la gaine 18b, d'indice optique n_1 ,
- 5 - et l'air, d'indice optique égal à 1, qui vient, du fait de cet indice très inférieur à n_1 et à n_0 , diminuer la "largeur" du mode de propagation dans la fibre optique 18.

Dans toute la description qui précède, il est clair
10 que nous n'avons nulle part tenu compte des modes de propagation dans la fibre optique 18 autres que le mode de propagation principal. Cette approche est tout à fait justifiée car on peut très facilement, et de manière connue, faire en sorte que certains modes ne se propagent
15 pas (ce qui revient à dire que toute l'énergie se propage sur le mode principal). Notamment, l'interface entre la gaine 18b et le coeur 18a de la fibre optique 18 est responsable de la propagation potentielle de modes parasites dénommés "modes de gaine" ; l'opération dite de
20 "vidage" de la fibre optique 18 permet d'en éliminer la propagation, une technique particulièrement efficace pour ce faire étant de disposer sur les fibres optiques des voies 6 et 7 du coupleur 5 un "liquide d'indice" (c'est-à-dire un liquide dont l'indice est égal à celui de la
25 gaine des fibres).

Il ressort bien de la description précédente que le microscope 1 de champ proche utilisant comme sonde optique un guide d'ondes, tel que notamment une fibre optique 18, résout de manière avantageuse les
30 inconvénients liés aux microscopes de champ proche conventionnels et permet l'observation spectroscopique et l'observation topographique de surfaces réfléchissantes
12 difficilement métallisables. L'observation spectroscopique est effectuée par diverses techniques
35 visant à moduler l'intensité de l'onde réfléchie en fonction du "paramètre spectroscopique" que l'on veut extraire, par exemple la longueur d'onde. Cette

observation renseigne sur la nature d'une surface réfléchissante 12, sa topographie pouvant être connue, par exemple, par un premier balayage de ladite surface 12 sans modulation d'aucun paramètre.

5 On peut également utiliser le microscope 1 conforme à l'invention comme un capteur de distance comparable à un capteur de distance utilisant un effet tunnel électronique (technique dérivée du microscope à effet tunnel électronique). Ce capteur purement optique permet
10 de s'affranchir de toute métallisation. La distance est alors contrôlée, dans ce cas, pour des valeurs plus grandes que dans le cas d'un effet tunnel électronique, ce qui procure d'autres avantages, et notamment celui d'éviter une proximité trop grande entre le capteur de
15 distance et la surface 12 à maintenir à distance - une telle proximité est "dangereuse" pour la surface 12, puisqu'une variation brutale, ou une dérive (c'est-à-dire une pente), peut provoquer la mise en contact physique dudit capteur et de ladite surface 12 -. Dans cette
20 application, on suppose que la surface est homogène, et que seule une variation de distance est responsable d'une variation d'intensité de l'onde réfléchie.

Etant donné que diverses modifications peuvent être apportées aux formes de réalisation décrites ci-dessus
25 sans se départir du cadre de l'invention, il est entendu que tous les détails contenus dans la description qui vient d'être donnée ou représentés dans les dessins annexés sont donnés à titre d'illustration de l'invention et ne sont donc pas limitatifs.

30 Notamment, le guide d'ondes servant de sonde optique pourrait être d'une autre nature qu'une fibre optique ; tout guide d'ondes présentant un mode propre de propagation électromagnétique de même structure qu'une fibre conviendrait, sous réserve de montrer la
35 décroissance rapide, voire quasiment exponentielle, de l'intensité de l'onde s'y propageant en fonction de la

distance séparant la surface à étudier et l'extrémité de ce guide d'ondes.

On peut également envisager d'utiliser un autre coupleur optique qu'un coupleur de fibres optiques
5 réalisé par un procédé de fusion/étirage.

Le domaine de l'invention est plus particulièrement celui de la microscopie à balayage, par des moyens purement optiques, et avec des résolutions nanométriques. On peut également destiner l'invention au contrôle
10 optique de la distance entre une surface donnée et un instrument à déplacer au-dessus de cette surface, et notamment tout instrument du type servant à la microlithographie des circuits intégrés.

REVENDICATIONS

1 - Microscope en champ proche en réflexion du type à balayage d'une surface par une sonde optique, 5 comprenant des moyens conventionnels de déplacement vertical et de déplacement latéral de ladite sonde avec une précision inférieure au nanomètre, caractérisé en ce que cette sonde optique est un guide d'ondes associé à une source générant une onde électromagnétique 10 avantageusement cohérente, l'extrémité de ce guide d'ondes étant placée à une distance d'une surface à étudier telle que l'intensité de l'onde électromagnétique réfléchie par ladite surface, et captée en retour par ladite extrémité du guide d'ondes, varie rapidement en 15 fonction de ladite distance, ce qui procure un moyen pour contrôler ou mesurer cette distance, par exemple par réaction sur les moyens conventionnels de déplacement vertical de ladite sonde optique.

2 - Microscope en champ proche suivant la 20 revendication 1, caractérisé en ce que le guide d'ondes est relié par un moyen approprié à un coupleur optique (5) bidirectionnel, possédant deux voies de transmission en entrée (6,7) et deux voies de transmission en sortie (8,9) :

25 - la première voie de transmission (6) en entrée étant reliée à la source (2) générant une onde électromagnétique avantageusement cohérente,

- la deuxième voie de transmission (7) en entrée étant reliée à un détecteur (10) de l'intensité de l'onde 30 électromagnétique réfléchie, après propagation dans ladite deuxième voie de transmission (7) en entrée,

- la première voie de transmission en sortie (8) étant relié audit guide d'ondes,

- la deuxième voie de transmission en sortie (9) 35 n'étant pas utilisée.

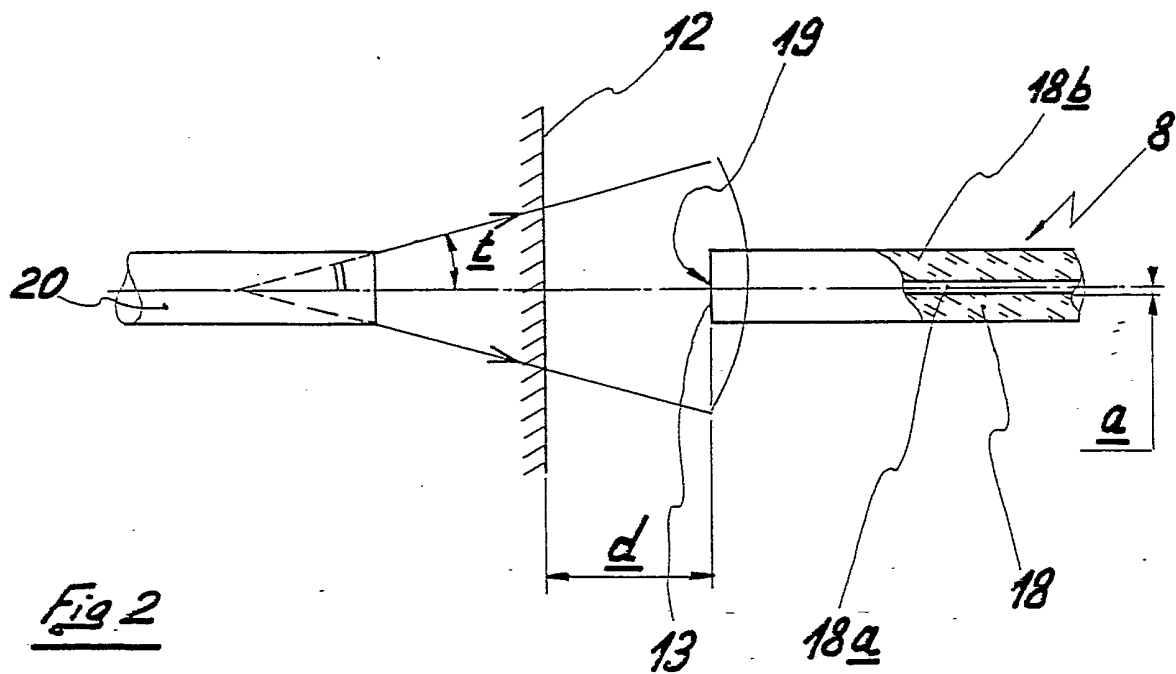
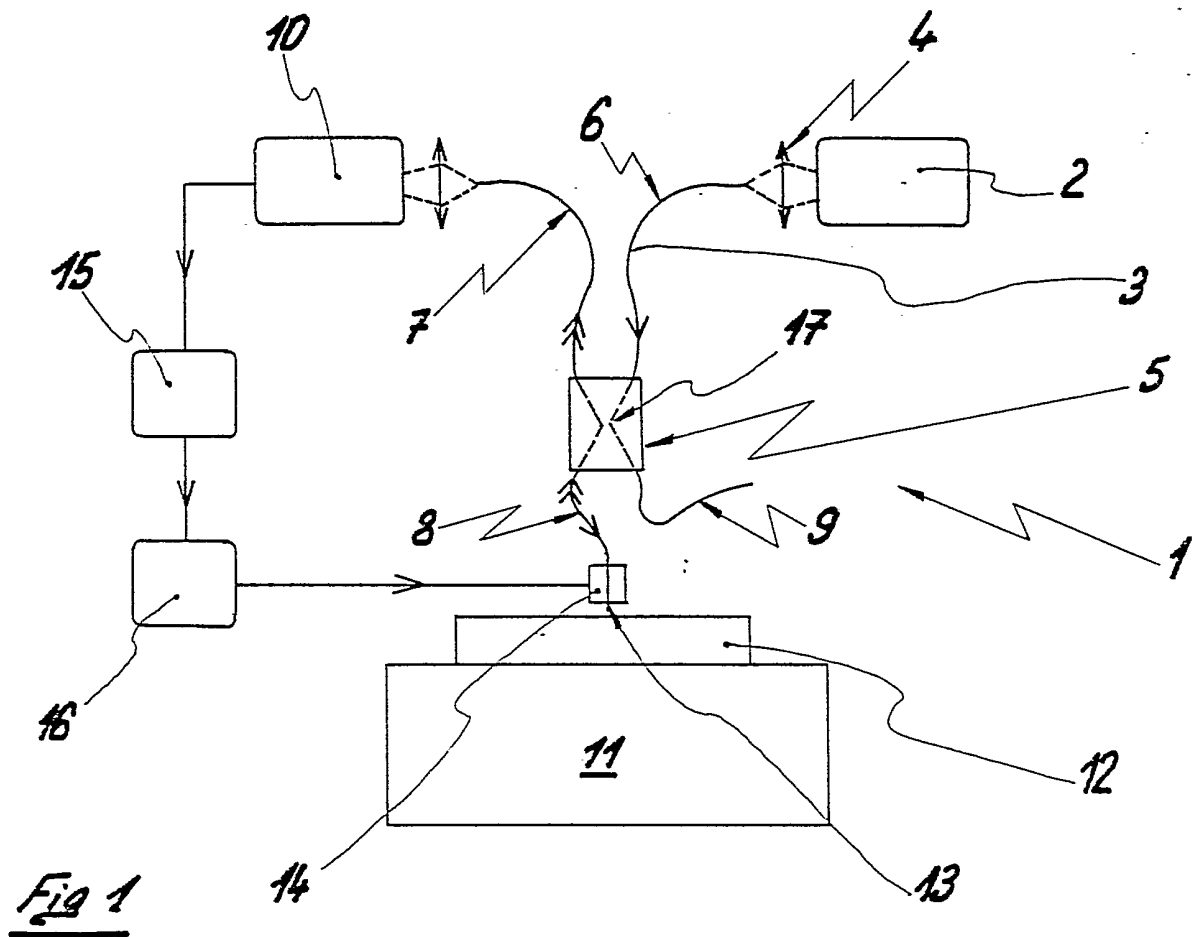
3 - Microscope en champ proche suivant la revendication 2, caractérisé en ce que le guide d'ondes

servant de sonde optique est avantageusement constitué par une fibre optique (18) servant de voie de transmission (8) en sortie du coupleur optique (5).

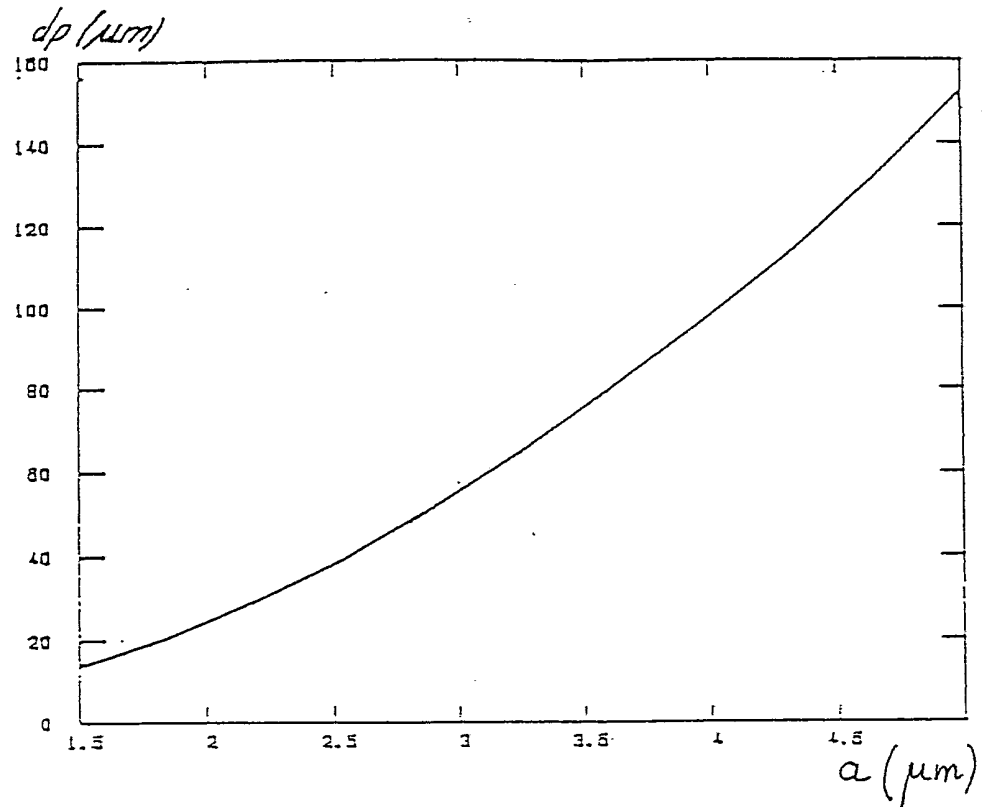
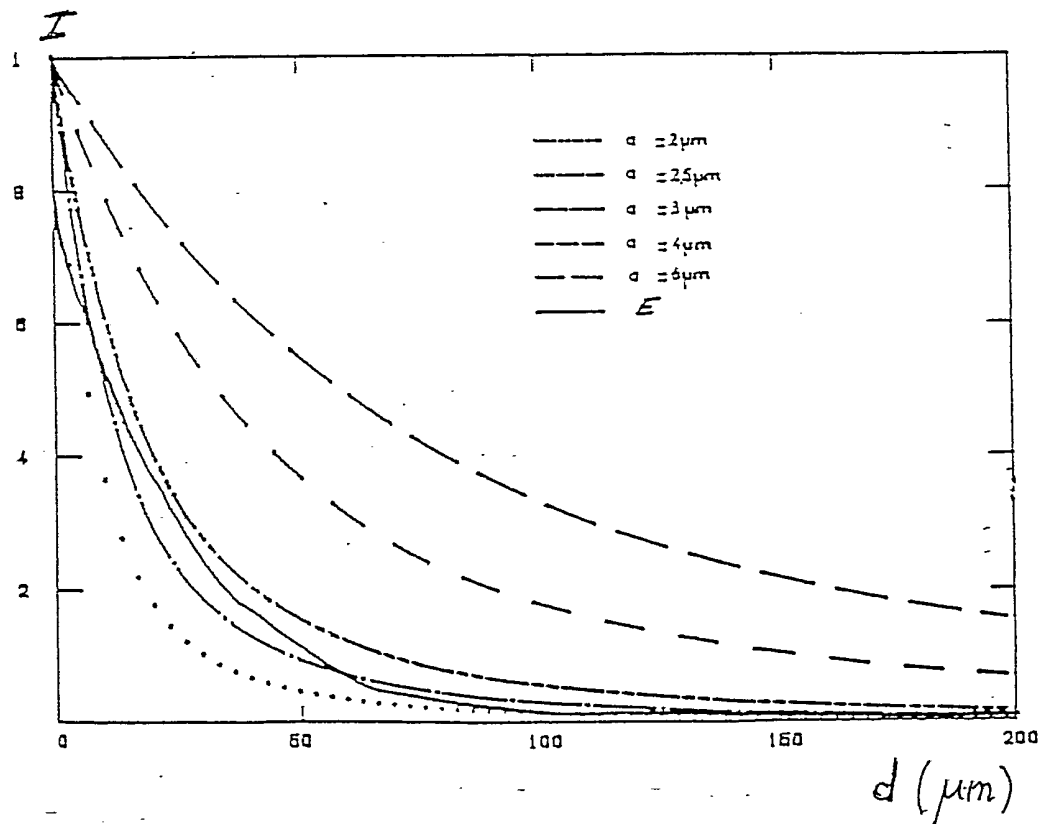
4 - Microscope en champ proche suivant la
5 revendication 3, caractérisé en ce que l'extrémité (13) de la fibre optique (18) servant de guide d'ondes se présente sous la forme d'une face plane (19) sensiblement perpendiculaire à la direction de propagation de la lumière dans ladite fibre (18).

10 5 - Microscope en champ proche suivant l'une quelconque des revendications 3 ou 4, caractérisé en ce que la fibre optique (18) servant de guide d'ondes est étirée à son extrémité (13) de manière à présenter un coeur (18a) dont le diamètre corresponde au mode
15 principal de propagation le plus "étroit" d'une onde électromagnétique dans ladite fibre (18), dans des conditions d'utilisation données, notamment dépendantes de la longueur d'ondes de l'onde électromagnétique émise par la source (2), de la nature des fibres optiques
20 composant les voies de transmission (6,7,8,9) du coupleur (5), et de l'ouverture numérique de la fibre optique (18) servant de guide d'ondes.

6 - Microscope en champ proche suivant l'une quelconque des revendications 3 à 5, caractérisé en ce
25 que la gaine (18b) de la fibre optique (18) servant de guide d'ondes est amincie à l'extrémité (13) de ladite fibre (18), qui se présente alors sous la forme d'une pointe, la face terminale (19) de cette fibre (18) étant par ailleurs plane et sensiblement perpendiculaire à la
30 direction de propagation de la lumière de la lumière dans ladite fibre (18).



2/2

Fig 4Fig 3

**INSTITUT NATIONAL
de la
PROPRIETE INDUSTRIELLE**

RAPPORT DE RECHERCHE

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

FR 8911297
FA 431367

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendications concernées de la demande examinée
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	
Y	EP-A-0 283 256 (TEKTRONIX) * Paragraphe "Optical detection"; pages 1-5 *	1-3
D,Y	EP-A-0 112 402 (IBM) * Abrégé *	1
Y	ELECTRONICS LETTERS, vol. 22, no. 2, janvier 1986, pages 103-105; M.V. IRAVANI: "Fibre-optic scanning differential interference contrast optical microscope" * Figure 1 *	2,3
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)
		G 02 B
Date d'achèvement de la recherche 18-05-1990		Examineur MALIC K.
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : pertinent à l'encontre d'au moins une revendication ou arrière-plan technologique général 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		