

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

①① **N° de publication :** **3 055 415**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)
②① **N° d'enregistrement national :** **17 57943**
⑤① Int Cl⁸ : **G 01 N 21/552 (2018.01)**

①②

BREVET D'INVENTION

B1

⑤④ **GUIDE D'ONDE A FENTE 3D ET DISPOSITIF DE CAPTEUR AINSI QUE PROCEDE DE FABRICATION D'UN TEL GUIDE D'ONDE.**

②② **Date de dépôt :** 29.08.17.

③③ **Priorité :** 30.08.16 DE 102016216328.0.

④③ **Date de mise à la disposition du public
de la demande :** 02.03.18 Bulletin 18/09.

④⑤ **Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention :** 13.09.19 Bulletin 19/37.

⑤⑥ **Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :**

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥⑥ **Références à d'autres documents nationaux
apparentés :**

○ **Demande(s) d'extension :**

⑦① **Demandeur(s) :** ROBERT BOSCH GMBH — DE.

⑦② **Inventeur(s) :** RAIBLE ISABELLE et MILVICH
JOHANNES.

⑦③ **Titulaire(s) :** ROBERT BOSCH GMBH.

⑦④ **Mandataire(s) :** CABINET HERRBURGER.

FR 3 055 415 - B1



Domaine de l'invention

La présente invention se rapporte à un guide d'onde à fente 3D comprenant :

- un dispositif de guide d'onde,
- 5 – une première couche ayant un premier indice de réfraction et qui est au moins en partie sur le dispositif guide d'onde, et
- une seconde couche ayant un second indice de réfraction.

L'invention se rapporte également à un procédé de fabrication d'un tel guide d'onde et à un dispositif de capteur équipé d'un tel
10 guide d'onde.

Etat de la technique

Le document « Experimental demonstration of guiding and confining light in nanometer-size low-refractive-index material » (Xu et al. Optics Letter, Vol. 29, No. 14, 2004) décrit un guide d'onde à
15 fente. Le guide d'onde à fente comporte une fente étroite en une matière à faible réfraction entre deux zones rectangulaires à fort indice de réfraction et qui sont toutes deux entourées par une enveloppe en une matière à faible réfraction.

Les ondes électromagnétiques sont guidées dans la fente
20 du guide d'onde alors que dans le cas de guides d'onde à bandes, usuels, les ondes électromagnétiques sont guidées dans le guide d'onde.

Les capteurs photoniques intégrés ont un grand nombre d'applications, par exemple comme capteurs d'environnement, capteurs inertiels, et/ou comme capteurs biologiques. Par exemple, des capteurs
25 photoniques intégrés peuvent s'utiliser pour l'analyse DNA. Pour augmenter la sensibilité des capteurs photoniques intégrés pour des analytes spéciaux à examiner, on peut fonctionnaliser les capteurs photoniques intégrés, par exemple en utilisant une gaine ou enveloppe appropriée. L'enveloppe peut être notamment une couche sensible qui
30 varie en fonction de la concentration de l'analyte, par exemple son indice de réfraction ou ses dimensions. Les analytes sont des gaz, des liquides, des corps solides ou des mélanges de différents états d'agrégation. Dans le cas de guides d'onde à bandes, fonctionnalisés, ayant une couche sensible, une onde évanescente du rayonnement électromagnétique dans le guide d'onde réagit avec la couche sensible dont
35

l'indice de réfraction ou des dimensions varient avec la concentration de l'analyte.

Cette variation de l'indice de réfraction peut se détecter par exemple avec un procédé de sélection par résonance ou par interférométrie et être exploitée. Un système pour la mise en œuvre du procédé de sélection peut être installé sur la même puce que le guide d'onde à bandes, fonctionnalisé. De plus, on peut par exemple intégrer également les sources de rayonnement pour générer le rayonnement et/ou des photodétecteurs pour détecter le rayonnement sur la puce. Plus le chevauchement entre le mode appliqué par le guide d'onde du rayonnement électromagnétique et la couche sensible est grand et plus sensible sera le capteur photonique intégré réagissant à l'analyte et ainsi la précision de la mesure du capteur sera élevée.

Dans les guides d'onde à fente, fonctionnalisés, le rayonnement électromagnétique est conduit principalement dans la couche sensible. Contrairement à cela, dans le cas de guides d'onde à bandes, fonctionnalisés, le mode est conduit de façon amplifiée dans le guide d'onde à bandes. Dans les guides d'onde à bandes, l'onde évanescence interagit avec la couche sensible. Lorsqu'on utilise des guides d'onde à fente, fonctionnalisés, on peut atteindre une sensibilité poussée pour détecter les analytes. Les guides d'onde à fente, fonctionnalisés, selon l'état de la technique, peuvent être réalisés par exemple par des procédés lithographiques et de gravure, convenant pour des structures comme par exemple la fente du guide d'onde à fente, fonctionnalisé, qui seront réalisées de manière précise dans le domaine du nanomètre.

Exposé et avantages de l'invention

La présente invention a pour objet un guide d'onde à fente 3D du type défini ci-dessus caractérisé en ce que

- le dispositif de guide d'onde comprend un guide d'onde à bandes,
- la seconde couche est au moins en partie sur le côté de la première couche à l'opposé du guide d'onde à bandes, la première couche formant une fente du guide d'onde à fente 3D,
- la seconde couche est au moins partiellement perméable à un analyte, et

- la première couche a au moins une propriété qui dépend d'un analyte.

L'invention a également pour objet un procédé de fabrication d'un guide d'onde à fente 3D comprenant les étapes suivantes consistant à :

- utiliser un guide d'onde à bandes,
- appliquer la première couche sur le guide d'onde à bandes, et
- appliquer la seconde couche sur le côté de la première couche à l'opposé du guide d'onde à bandes.

L'invention a l'avantage de réaliser un guide d'onde à fente 3D, robuste, avec des moyens et des étapes de procédé simples. On arrive à une sensibilité élevée et à une grande précision des résultats de mesure dans l'analyse de l'analyte en utilisant le guide d'onde à fente 3D.

Ainsi et comme exposé, l'invention a pour objet un guide d'onde à fente 3D comportant un dispositif de guide d'onde, une première couche avec un premier indice de réfraction et qui est au moins en partie sur le dispositif guide d'onde ainsi qu'une seconde couche ayant un second indice de réfraction. Le guide d'onde à fente 3D se caractérise en ce qu'il comporte un guide d'onde à bandes et la seconde couche est au moins en partie sur le côté de la première couche non tourné vers le guide d'onde à bandes, la première couche formant une fente du guide d'onde à fente 3D et la seconde couche est au moins partiellement transparente à au moins un analyte et la première couche a au moins une propriété qui dépend d'au moins un analyte.

Selon un développement, le premier indice de réfraction est inférieur au second indice de réfraction. En particulier, l'indice de réfraction du guide d'onde à bandes est supérieur au premier indice de réfraction. Il en résulte l'avantage que le rayonnement électromagnétique conduit dans la première couche et ainsi le chevauchement entre le rayonnement électromagnétique dans le guide d'onde à fente 3D et la première couche qui a une propriété dépendant de l'analyte est avantageusement important. Ainsi, on aura une sensibilité élevée et une précision poussée des résultats de mesure dans l'analyse d'un analyte en utilisant le guide d'onde à fente 3D.

Selon un développement, la première propriété de la première couche qui dépend d'au moins un analyte est le premier indice de réfraction, notamment la partie réelle du premier indice de réfraction. En variante, la seconde propriété de la première couche qui dépend d'au moins un analyte est le premier indice de réfraction de la première couche, cet indice étant un indice de réfraction complexe, en particulier la partie imaginaire du premier indice de réfraction. Un avantage est qu'en considérant la variation de l'indice de réfraction complexe comme propriété qui varie par exemple en fonction de la concentration de l'analyte, on aura des effets d'amortissement comme ceux produits par exemple par l'absorption du rayonnement électromagnétique et ainsi, on aura des informations supplémentaires pour la sélection ou le référencement.

En variante ou en complément, la troisième propriété de la première couche qui dépend de l'analyte est une dimension de la première couche. Si l'on réalise le contact entre la première couche et l'analyte, la première couche peut gonfler ou se rétracter de sorte qu'au moins une dimension de la première couche varie. A titre d'exemple, l'épaisseur de la couche varie. Le gonflement permet par exemple une modification de l'indice de réfraction effectif en mode de rayonnement électromagnétique ; cette variation se détermine à l'aide d'un système d'exploitation par résonance ou interférométrie et elle est associée à la concentration de l'analyte.

Selon un développement, la seconde couche est en une matière poreuse pour au moins un analyte. Il est avantageux que l'analyte puisse ainsi pénétrer de façon simple à travers la seconde couche jusqu'à la première couche. Un autre avantage est que la perméabilité de la seconde couche pour au moins un analyte, résulte en variante ou en complément, des propriétés chimiques de la seconde couche qui est seulement traversée de manière sélective par des analytes sélectionnés qui pourront arriver à la première couche.

En variante ou en complément, la seconde couche a une dimension prédéterminée de pores, la seconde couche fonctionnant comme filtre pour les molécules ou les particules et cette fonction de filtre dépend de la taille des pores. Il est avantageux qu'ainsi les mé-

langes de matières, non souhaités qui pourraient par exemple fausser des résultats des mesures, n'arrivent pas jusqu'à la première couche et ne modifient ainsi aucune propriété de cette couche. On augmente ainsi la sensibilité, la sélectivité vis-à-vis des analytes, la précision et la fiabilité des mesures du guide d'onde à fente 3D. De plus, la première couche est ainsi protégée contre l'influence de l'environnement, des gaz, notamment de l'humidité, des fluides et/ou des corps solides qui peuvent par exemple endommager la première couche par des réactions chimiques ou des effets analogues. Cela permet avantageusement d'augmenter la robustesse et la durée de vie du guide d'onde à fente 3D.

Un dispositif de capteur comportant au moins un guide d'onde à fente 3D selon l'une des formes de réalisation décrites ci-dessus et une unité d'exploitation pour déterminer l'analyte à partir d'une variation d'au moins une propriété de la première couche est avantageuse car ainsi on améliore les avantages des formes de réalisation décrites ci-dessus, à savoir la sensibilité, la sélectivité vis-à-vis de certains analytes, la précision et la fiabilité des résultats de mesure du dispositif de capteur.

L'invention a également pour objet un procédé de fabrication comme cela a déjà été indiqué. Un avantage du procédé est de pouvoir effectuer les étapes par des moyens simples et avec une plus grande précision. Un autre avantage est que la réalisation d'un guide d'onde à fente 3D pourra se faire avec une plus grande qualité et fiabilité ; ainsi on aura une fabrication économique du guide d'onde à fente 3D en plus grande série et avec une qualité poussée. En particulier, il ne faut aucun procédé lithographique qui réalise une précision de lithographie inférieure à 100 nm.

Dessins

La présente invention sera décrite ci-après de manière plus détaillée à l'aide de guides d'onde à fente, 3D, représentés dans les dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1a est une section d'un guide d'onde à bandes fonctionnalisés,
- la figure 1b est une section d'un guide d'onde à fente, fonctionnalisé comportant deux guides d'onde à fente,

- la figure 2 est une section d'un guide d'onde à fente 3D selon un exemple de réalisation de l'invention,
- la figure 3 est un schéma par blocs d'un dispositif de capteur,
- la figure 4 montre le résultat de simulation d'un profil de mode TE d'un guide d'onde à bandes avec une couche sensible,
- la figure 5 montre le résultat de simulation d'un profil de mode TE d'un guide d'onde à fente 3D,
- la figure 6 montre le résultat de simulation pour un profil de mode TM d'un guide d'onde à bandes avec une couche sensible,
- la figure 7 montre le résultat de simulation d'un profil de mode TM d'un guide d'onde à fente 3D,
- la figure 8 montre le résultat de simulation pour la sensibilité d'un guide d'onde à bandes comportant une couche sensible pour le mode TE,
- la figure 9 montre le résultat de simulation de la sensibilité d'un guide d'onde à fente 3D pour le mode TE,
- la figure 10 montre le résultat de simulation de la sensibilité d'un guide d'onde à bandes avec une couche sensible pour le mode TM,
- la figure 11 montre le résultat de simulation de la sensibilité d'un guide d'onde à fente 3D pour le mode TM, et
- la figure 12 montre un ordinogramme d'un procédé de fabrication d'un guide d'onde à fente 3D.

Description de modes de réalisation

La figure 1a montre la section d'un guide d'onde à bandes, fonctionnalisé 200' qui comporte un guide d'onde à bandes 202 installé sur un substrat 203 et entouré d'une couche sensible 201. Les zones sensibles du guide d'onde à bandes 202 de la figure 1a sont esquissées par des ellipses en trait interrompu. Les guides d'onde à bandes, fonctionnalisés 200' appliquent un mode de rayonnement électromagnétique au guide d'onde à bandes 202. Le mode pénètre dans la couche sensible 201 et s'atténue exponentiellement dans la couche sensible 201. Ce phénomène est appelé évanescente. Ainsi, une onde évanescente interagit avec la couche sensible 201.

La figure 1b montre un guide d'onde à fente 200, fonctionnalisé. Le guide d'onde à fente 200, fonctionnalisé, se compose de

deux guides d'onde à bandes 202 écartés l'un de l'autre sur un même substrat 203. La distance 205 caractérise l'intervalle entre les guides d'onde à bandes 202. L'intervalle 205 se situe dans le domaine du nanomètre. Les deux guides d'onde à bandes 202 sont couverts par une couche sensible 201 qui existe également dans l'intervalle entre les deux guides d'onde à bandes 202. La zone sensible 204 du guide d'onde à fente 200 est esquissée par une ellipse en trait interrompu dans la région de cet intervalle.

La figure 2 montre une section d'un exemple de réalisation d'un guide d'onde à fente 3D, 100. Sur un substrat 3, par exemple un substrat de silicium sur isolant (SOI), on a développé un guide d'onde à bandes 4 qui représente un dispositif de guide d'onde. Le guide d'onde à bandes 4 est par exemple en silicium (Si). La surface 105 du guide d'onde à bandes 4 comprend à la figure 2, trois surfaces : d'une part, les deux surfaces latérales du guide d'onde à bandes 4 écartées l'une de l'autre et situées chacune dans un plan parallèle au plan y-z et d'autre part, la surface supérieure du guide d'onde 4 qui relie entre elles les deux surfaces latérales et qui est parallèle au plan x-z sur le côté non tourné vers le substrat 3. La surface supérieure 105 du guide d'onde à bandes 4 selon la figure 2 porte une première couche 1 ayant un premier indice de réfraction. Une seconde couche 2 de cet exemple de réalisation se trouve sur le côté 104 de la première couche 1 à l'opposé du guide d'onde à bandes 4. La première couche 1 forme l'intervalle du guide d'onde à fente 3D, 100 entre le guide d'onde à bandes 4 et la seconde couche 2. La seconde couche 2 a un second indice de réfraction. La seconde couche 2 est au moins partiellement perméable à au moins un analyte. L'analyte peut se trouver sur le côté de la seconde couche 2 à l'opposé de la première couche 1, et qui correspond, à la figure 2, à la surface supérieure 106 du guide d'onde à fente 3D, 100 et qui est prévu au moins en partie. Du fait de la nature de la seconde couche 2, l'analyte peut arriver jusqu'à la première couche 1. La première couche 1 a au moins une propriété qui dépend d'au moins un analyte. Le guide d'onde à fente 3D, 100 comprend le guide d'onde à bandes 4, la première couche 1 et la seconde couche 2. L'indice de réfraction du guide d'onde à bandes 4 de cet exemple de réa-

lisation est supérieur au premier indice de réfraction ; le premier indice de réfraction est inférieur au second indice de réfraction. En variante ou en complément, le second indice de réfraction peut être supérieur à l'indice de réfraction de l'échantillon constitué par un analyte.

5 Le guide d'onde à bandes 4, la première couche 1 et la
seconde couche 2 forment ainsi une succession de couches 4, 1, 2
ayant respectivement un indice de réfraction élevé, un indice de réfrac-
tion bas et un indice de réfraction élevé. Si l'on injecte un rayonnement
10 électromagnétique dans le guide d'onde à bandes 4, on a au moins un
mode de rayonnement électromagnétique dans le guide d'onde à
bandes. Par la succession de couches, on réalise qu'au moins un mode
ne se développe pas dans le guide d'onde à bandes 4 mais se multiplie
dans la première couche 1. La première couche 1 a au moins une pro-
15 priété qui varie en fonction de l'analyte et constitue ainsi une couche
sensible. Si un mode est appliqué à la première couche 1, alors le che-
vauchement entre le mode et la couche sensible est le plus grand. Ainsi,
la sensibilité de la première couche 1 sera utilisée de façon optimale.
Par le choix de l'indice de réfraction des couches 4, 1, 2, on peut régler
ce chevauchement. Le choix des matériaux et des dimensions des élé-
20 ments du guide d'onde à fente 3D, 100 comme par exemple la première
couche 1, la seconde couche 2 et le guide d'onde à bandes 4, permet de
régler le ou les modes avec lesquels les longueurs d'onde peuvent être
conduites dans le guide d'onde à fente 3D, 100. A titre d'exemple, on
choisit les matières et les dimensions pour conduire un mode de lon-
25 gueur d'onde de $1,55 \mu\text{m}$ dans le guide d'onde à fente 3D, 100. Comme
cela est montré à la figure 1b, le guide d'onde à fente 3D, 200 forme
également l'intervalle qui à la figure 2 est formé par la première couche
1, avec une zone sensible du guide d'onde à fente 3D, 100. La surface
supérieure 105 du guide d'onde à bandes 4 de cet exemple de réalisa-
30 tion est complètement couverte par la première couche 1. A la figure 2,
on a esquissé les zones sensibles 101, 102, 103 par des ellipses tracées
avec un trait interrompu. La première zone sensible 101 et la seconde
zone sensible 102 se trouvent dans la zone de côté en regard de la sur-
face supérieure 105 du guide d'onde à bandes 4. La troisième zone sen-

sible 103 se trouve sur le côté du guide d'onde à bandes 4 à l'opposé du substrat 3.

La première couche 1 a au moins une propriété qui dépend de l'analyte. La sensibilité du guide d'onde à fente 3D, 100 par rapport à l'analyte est réalisée par la première couche 1. Le guide d'onde à fente 3D, 100 selon un exemple de réalisation, peut également être sensible à plusieurs analytes. Les analytes sont des échantillons contenant une matière dont on veut obtenir une information par une analyse chimique. Les analytes sont par exemple des matières biologiques ou des produits chimiques. Les analytes chimiques peuvent être par exemple des molécules à l'état gazeux telles que du dioxyde de carbone (CO_2), le formaldéhyde ou de l'eau (H_2O) pour faire des analyses de l'environnement. En outre, les analytes chimiques peuvent contenir des ions tels que des ions de calcium (Ca^{2+}), des ions de potassium (K^+) pour des applications de contrôle sanguin ou de surveillance de la qualité de l'eau mais également des molécules neutres telles que du méthanol pour des piles à combustible ou de l'eau oxygénée (H_2O_2) pour l'analyse de l'air respiré. A titre d'exemple, on détermine la concentration d'un ou plusieurs analytes dans le cadre d'une analyse chimique.

L'échantillon est la matière analysée qui se présente sous la forme d'une matière chimique ou d'un mélange de matières. L'échantillon peut être à l'état gazeux, liquide et/ou solide. Par exemple, l'échantillon peut comporter des matières biologiques à l'aide desquelles on effectue une analyse DNA. Le premier indice de réfraction de la première couche 1 est choisi aussi petit que possible de sorte que le mode du rayonnement électromagnétique se fera de manière multipliée dans la première couche 1. L'expression « multiplié » signifie qu'au moins un mode sera exécuté au moins en partie dans la première couche 1. En présence d'au moins un analyte, la première couche modifie au moins une caractéristique, par exemple en fonction de la concentration de l'analyte. Cette caractéristique peut comporter une première propriété, une seconde propriété et/ou une troisième propriété. La première propriété de la première couche 1 qui dépend de l'analyte peut être le premier indice de réfraction. Par exemple, une modification de la concentration de l'analyte peut conduire à une modification du premier

indice de réfraction. A partir de cette modification, on peut conclure en retour à la concentration de l'analyte. En variante ou en complément, la seconde propriété de la première couche 1 variera par exemple en fonction de la concentration de l'analyte. La seconde propriété est par exemple le premier indice de réfraction qui est un indice de réfraction plus complexe. Le premier indice de réfraction peut également se présenter sous la forme d'un nombre complexe pour tenir compte par exemple de l'absorption du mode dans le guide d'onde à fente 3D, 100. Une modification du premier indice de réfraction peut être associée en tenant compte des effets d'amortissement tels que par exemple l'absorption au mode selon la concentration de l'analyte, ce qui permet d'améliorer la précision et la sélectivité de la mesure de concentration ainsi que la tenue de la mesure de concentration par rapport aux effets d'arrière plan.

En variante ou en complément, la troisième propriété de la première couche 1 peut varier en fonction de l'analyte. La troisième propriété est au moins une dimension de la première couche 1. Une des dimensions de la première couche est par exemple son épaisseur. L'épaisseur de la première couche est la distance entre la seconde couche 2 et la surface 105 du guide d'onde à bandes 4. D'autres dimensions sont par exemple la largeur de la première couche 1. Si le contact est établi entre la première couche et l'analyte, alors la première couche 1 gonfle ou se rétracte, c'est-à-dire se dessèche, de sorte qu'au moins une dimension de la première couche 1 varie. Les variations de la première propriété, de la seconde propriété et/ou de la troisième propriété en fonction de la concentration de l'analyte, peuvent être la variation d'un indice de réfraction efficace, complexe, du mode appliqué par le guide d'onde à fente 3D, 100. Comme matière pour la première couche 1, on choisit par exemple des matières qui, par comparaison avec le second indice de réfraction et l'indice de réfraction du guide d'onde à bandes 4, ont un premier indice de réfraction plus petit et au moins une propriété qui contient la sensibilité vis-à-vis de l'analyte. Comme le mode de rayonnement électromagnétique est appliqué de plus en plus dans la première couche 1, on choisit la matière pour qu'elle présente une faible absorption de la longueur d'onde correspondant à ce mode.

Cette faible absorption est notamment avantageuse si la partie réelle du premier indice de réfraction pour la mesure est par exemple considérée pour la concentration de l'analyte. Si l'absorption doit être mesurée comme propriété variant en fonction de l'analyte, il suffit d'une faible absorption.

5 L'expression « multiplié » signifie qu'au moins un mode travaille au moins en partie dans la première couche 1. L'expression « se multiplier » signifie qu'au moins une partie du rayonnement passe dans la première couche 1 contrairement au guide d'onde à bandes 200' fonctionnalisé, composé du guide d'onde à bandes 202 avec la couche sensible 201 selon la figure 1a dont le rayonnement est conduit dans le guide d'onde à bandes 202 et qui dans l'environnement du guide d'onde à bandes 202 c'est-à-dire arrive selon la figure 1a, dans la couche sensible 201 comme champ évanescent. En particulier, la partie du rayonnement conduit dans la première couche 1 est supérieure à la partie du rayonnement du guide d'onde à bandes 4. Les matières qui réagissent au moins en partie avec l'analyte pendant une durée prédéterminée, peuvent servir de première couche 1. La première couche 1 est par exemple un polymère. La première couche 1 est un exemple de réalisation dans lequel on applique un mode ayant une longueur d'onde de 20 1,55 μm dans le guide d'onde à fente 3D, 100. L'épaisseur varie d'environ 10 nanomètres (nm) jusqu'à quelques centaines de nanomètres. La première couche 1 est par exemple en une ou plusieurs des matières suivantes : polymère, ossature organométallique (MOF), oxyde métallique, porphyrines liaisons organiques, matières à base d'enzyme.

25 La seconde couche 2 peut être réalisée en un matériau transparent pour l'analyte. L'expression « transparent » signifie que l'analyte peut traverser la seconde couche. La seconde couche 2 est par exemple en une matière poreuse de sorte qu'elle est perméable à un analyte. Cet analyte peut ainsi traverser la seconde couche 2 et arriver sur la première couche 1. En variante ou en complément, la seconde couche 2 a une propriété chimique permettant une sélection de sorte que seuls certains analytes arrivent à la première couche 1. La sélection des analytes peut ainsi se faire chimiquement, par exemple en développant des liaisons chimiques ou physiquement, par exemple par le choix

30
35

de la taille des pores ou encore par le mélange des deux procédés de sélection. Le second indice de réfraction de la seconde couche 2 peut être supérieur au premier indice de réfraction de la première couche 1. Ainsi, le mode peut être conduit de manière multiple dans la première
5 couche 1. La seconde couche 2 est par exemple avec une ossature métallo-organique dont la taille de pores est réglable de manière quelconque allant par exemple jusqu'à 10 nm.

Dans un exemple de réalisation, la seconde couche 2 a une dimension prédéterminée de pores. La porosité de la seconde
10 couche 2 peut par exemple se régler par le choix de la taille des pores. La taille prédéfinie des pores doit au moins permettre qu'au moins un analyte puisse traverser la seconde couche 2 pour arriver sur la première couche 1. La porosité de la seconde couche 2 peut être intrinsèque. Les matières qui ont une porosité intrinsèque sont par exemple
15 le téflon AF, des ossatures métallo-organiques (MOF) ainsi que des réseaux de nanomatériaux telles que les nanotubes de carbone. En variante ou en complément, la porosité de la seconde couche 2 peut se régler à la fabrication de cette seconde couche 2 en ce que par exemple on utilise un gabarit pour le dépôt de la seconde couche 2. On peut à cet effet
20 utiliser par exemple des procédés connus de la fabrication des polymères imprégnés comme par exemple l'utilisation de tensioactifs (pores 2D) ou encore de gabarits à nanoparticules multicouches. La seconde couche 2 peut être conçue comme filtre pour les molécules ou les particules, la fonction de filtre dépendant de la taille des pores de la seconde
25 couche 2. Les molécules ou particules dont la taille est supérieure à celle des pores ne pourront pas arriver jusqu'à la première couche 1.

Il est par exemple souhaitable qu'une particule de poussière n'arrive pas sur la première couche 1. Ces particules seront retenues par la seconde couche 2 fonctionnant comme filtre de la première
30 couche 1. La seconde couche 2 a de préférence une absorption moindre ou une dispersion moindre pour la longueur d'onde qui arrive du guide d'onde à fente 3D, 100. La faible absorption est notamment avantageuse si la partie réelle du premier indice de réfraction est prise en compte pour la mesure, par exemple la concentration de l'analyte. Si en
35 revanche, on veut mesurer l'absorption comme propriété variable de

l'analyte, il ne faut pas d'absorption faible. Dans le présent exemple de réalisation, on conduit un mode avec une longueur d'onde de $1,55 \mu\text{m}$ dans le guide d'onde à fente 3D, 100. La seconde couche 2 est par exemple en des matières à base de carbone. Les matières à base de carbone comportent par exemple un réseau de nanotubes de carbone (CNT) ou de nanoparticules. Les nanostructures de carbone peuvent être combinées par des liaisons chimiques pour augmenter la stabilité mécanique de la seconde couche 2. A titre d'exemple, des nanotubes de carbone modifiés COOH qui peuvent être reliés par des diamines. Les matières à base de carbone permettent une bonne diffusion d'au moins un analyte vers la première couche 1 et sont utilisées comme des matières à forte réfraction. En variante ou en complément, la seconde couche 2 est en un polymère à forte réfraction (polymère (HRIP) comme par exemple des polymères utilisés comme revêtements antiréfléchissants. Pour augmenter l'indice de réfraction d'un polymère, on utilise par exemple avec des monomères aromatiques avec adjonction d'atomes tels que par exemple du soufre (S) ou des combinaisons chimiques telles que par exemple la hosphine (PH_3). En variante ou en complément, pour augmenter l'indice de réfraction du polymère, on peut ajouter des nanoparticules qui forment des nanocomposites. La seconde couche 2 peut être en nanoparticules telles que par exemple du nitrure de silicium (Si_3N_4), en silicium (Si), oxydes métalliques, polystyrènes. Un fabricant de nanoparticules est par exemple EPRUI Nanoparticles & Microspheres Co. Ltd. En fonction des propriétés chimiques des nanoparticules sélectionnées de la seconde couche 2, on réalise un réseau stable en utilisant différents types de réticulations. On peut par exemple réticuler des nanoparticules d'or par la liaison dithiol, des microsphères de polystyrène à fonction amine avec des acides dicarbonés et des nanoparticules de silicium par une fonction silane.

Dans un exemple de réalisation, on relie le guide d'onde à fente 3D, 100 par des structures de rétrécissement et/ou de couplage avec des guides d'onde de transmission, usuels, pour éviter les pertes, les réflexions, les absorptions et/ou les dispersions du rayonnement électromagnétique passant dans le guide d'onde à fente 3D, 100, en dehors de la plage sensible, ou encore pour éviter de tels effets et per-

mettre ainsi de conduire de manière fiable le mode de rayonnement électromagnétique.

Pour un dimensionnement optimum du guide d'onde à bandes 4, de la première couche 1 et de la seconde couche 2, on rend maximale la partie du mode effectué dans la première couche 1 ou on règle une valeur prédéfinie. Rendre maximum est intéressant si la première couche 1 n'a pas d'absorption ou qu'une faible absorption. Le réglage d'une valeur prédéfinie peut être notamment intéressant si la première couche 1 est absorbante. Dans ce cas, on règle le chevauchement de façon que le mode interagisse avec la première couche 1 et qu'en même temps, le mode ne soit pas immédiatement absorbé complètement. Le dimensionnement optimum peut en outre dépendre de ce que l'on utilise un mode électrique quasi-transversal (quasi mode TE) et/ou un mode magnétique quasi-transversal (quasi mode TM) pour l'analyse d'un échantillon. Le dimensionnement optimum se détermine par exemple par une simulation. Dans le cas de l'utilisation du mode quasi TE d'un exemple de réalisation avec un guide d'onde à bandes 4 en silicium Si, une première couche en polymère et une seconde couche 2 en nanotubes de carbone, la simulation donne le dimensionnement optimum suivant du guide d'onde à bandes 4, de la première couche 1 et de la seconde couche 2 : Le guide d'onde à bandes 4 a, dans cet exemple de réalisation, une largeur optimale, c'est-à-dire une extension optimale dans la direction x égale à 300 nm pour une hauteur, c'est-à-dire pour une extension dans la direction y, égale à 200 nm. La première couche 1 de cet exemple de réalisation a une épaisseur optimale d'environ 100 nm et la seconde couche 2 de cet exemple de réalisation a une épaisseur optimale d'environ 200 nm. En utilisant le quasi mode TM de cet exemple de réalisation avec un guide d'onde à bandes 4 en silicium Si, une première couche en polymère et une seconde couche 2 en nanotubes de carbone, la simulation donne le dimensionnement optimum suivant pour le guide d'onde à bandes 4, la première couche 1 et la seconde couche 2 : le guide d'onde à bandes 4 a une largeur optimale, c'est-à-dire une extension optimale dans la direction x de 500 nm pour une hauteur, c'est-à-dire une extension dans la direction y, égale à 220 nm. La première couche 1 de cet exemple de réalisation a une

épaisseur optimale d'environ 100 nm et la seconde couche 2 de cet exemple de réalisation a une épaisseur optimale d'environ 200 nm.

Au contact de l'analyte avec la première couche 1 celle-ci peut gonfler ou se rétracter de sorte qu'au moins une dimension de la première couche 1 change. Par exemple, l'épaisseur de la première couche 1 varie. Le gonflement ou la rétraction de la première couche 1, modifient l'indice de réfraction efficace d'un mode du rayonnement électromagnétique car cet indice de réfraction efficace dépend entre autres de la géométrie du guide d'onde à fente 3D, 100 qui varie du fait du gonflement de la première couche. L'indice de réfraction effectif peut varier par exemple en fonction du remplissage des pores de la seconde couche avec l'analyte ainsi que par le développement de paires d'ions et/ou de l'adsorption / fission de molécules qui peuvent se produire par le contact avec un analyte. La figure 3 montre un dispositif de capteur 107 comportant un guide d'onde à fente 3D, 100, par exemple selon l'un des exemples de réalisation décrits ci-dessus ainsi qu'une unité d'exploitation 5.

L'unité d'exploitation 5 peut se trouver sur le même substrat 3 que le guide d'onde à fente 3D, 100. L'unité d'exploitation 5 peut comporter des détecteurs pour détecter le rayonnement. Ces détecteurs sont par exemple intégrés au substrat 3. En variante ou en complément, l'unité d'exploitation 5 se trouve au moins en partie sur un autre substrat qui ne correspond pas au substrat 3. Une extension d'onde, ici un élargissement du mode dans le guide d'onde à fente 3D, 100, est donnée par l'équation d'onde. Le champ électrique est donné par la formule :

$$\vec{E} = \vec{E}_0 \exp(i(kx - \omega t)),$$

dans laquelle, la constante de propagation avec coefficient k est proportionnelle à l'indice efficace de réfraction. L'indice efficace de réfraction comporte une partie réelle qui décrit la réfraction du mode et une partie imaginaire qui décrit le coefficient d'extinction. Le coefficient d'extinction est une mesure de l'atténuation du mode par un milieu, rapportée à la longueur d'onde à travers le milieu. L'affaiblissement résulte de la dispersion et/ou de l'absorption. L'indice de réfraction effectif peut varier par exemple si dans au moins une partie du milieu, ici

notamment la première couche 1 correspondant au passage du mode, l'indice de réfraction varie si l'absorption dans au moins une partie du volume du milieu, ici notamment la première couche 1 pour le mode, varie ou si les dimensions de la première couche 1 varient. L'unité d'exploitation 5 permet de détecter la variation de l'indice de réfraction effectif et/ou d'exploiter cette variation.

La variation de l'indice de réfraction peut se mesurer par exemple comme suit. D'une part, on mesure la partie réelle de l'indice de réfraction effectif, ici après le passage d'un trajet de mesure/guide d'onde 3D, 100 d'une longueur définie avec une variation de phase par rapport à l'état normal. La variation de phase peut se mesurer par exemple par interférométrie avec un chemin de référence. En variante ou en complément, on mesure la partie imaginaire de l'indice effectif de réfraction qui est une mesure de l'absorption, ici après le passage d'un chemin de mesure/guide d'onde à fente 3D, 100 d'une longueur définie, avec variation d'amplitude ou variation d'intensité du mode. La variation d'amplitude se mesure par exemple avec une photodiode. On peut déterminer par exemple la concentration et le type d'analyte à partir de la variation de l'indice de réfraction efficace par l'unité d'exploitation 5. On transmet un signal de mesure 6 par le guide d'onde à fente 3D, 100 à l'unité d'exploitation 5. L'unité d'exploitation 5 est par exemple une unité d'exploitation 5 résonante ou interférométrique. Dans l'utilisation d'une unité d'exploitation interférométrique 5, cette unité 5 comporte par exemple un interféromètre de Young, un interféromètre Mach-Zehnder ou un résonateur en anneau. Tous les principes de mesures interférométriques évoqués ci-dessus reposent sur une mesure de phase. La variation de phase peut être convertie en une variation de l'indice de réfraction efficace. On peut par exemple, en utilisant une courbe caractéristique, déterminer la concentration de l'analyte à partir de la variation de l'indice de réfraction effectif. La concentration d'au moins un analyte peut par exemple donner une valeur de sortie 7 de l'unité d'exploitation 5 et/ou du dispositif de capteur 107. Cela est indiqué par une flèche à la figure 3. Si en plus, l'amplitude varie, cet effet se superpose à la mesure de phase, ce qui permet d'obtenir d'autres informations.

Les figures 4 à 7 sont des esquisses de résultats de simulation de différents profils de mode. La première couche 1 et la couche sensible 201 de ces exemples de réalisation sont en polymère et les guides d'onde à bandes 4, 202 sont en silicium (Si). La densité d'un nuage de points est une mesure de l'amplitude sur un champ normalisé du mode. L'amplitude peut prendre des valeurs comprises entre 0 et 1. L'amplitude augmente avec la densité croissante du nuage de points. Cela signifie qu'un nuage de points très dense correspond à une valeur de l'amplitude proche de l'unité alors qu'un nuage de points de très faible densité correspond à une valeur de l'amplitude proche de 0.

La figure 4 et la figure 6 sont des esquisses de résultats de simulations pour un guide d'onde à bandes 200', mises en fonction, comme le montre par exemple la figure 1a.

La figure 4 montre le profil du mode TE ; la figure 6 montre le profil du mode TM.

L'axe x et l'axe y donnent les dimensions en 10^{-7} m. La figure 5 et à la figure 7, montrent les esquisses des résultats de simulation pour un guide d'onde à fente 3D, 100 comme par exemple celui représenté à la figure 2. La figure 5 montre le profil du mode TE ; la figure 7 montre le profil du mode TM. L'axe x et l'axe y donnent les dimensions en unité 10^{-7} m. A la figure 4, l'amplitude du mode TE dans la région des surfaces latérales du guide d'onde à bandes 202 et qui sont écartées dans un plan parallèle au plan y-z, est la plus grande ; l'amplitude du champ électrique dans le guide d'onde à bandes 202 a une valeur comprise entre environ 0,5 et environ 0,75. L'amplitude du mode dans la plage des côtés non tournés vers les surfaces latérales de la couche sensible 201 prend des valeurs comprises entre environ 0,4 et 0,7. La figure 5 montre l'amplitude du mode TE dans la région des surfaces latérales du guide d'onde à fente 3D, 100, surfaces qui sont écartées et sont dans un plan parallèle au plan y-z, les plus grandes c'est-à-dire comprises entre environ 0,9 et environ 1, l'amplitude du guide d'onde à bandes 4 faisant partie du guide d'onde à fente 3D, 100 n'a que des valeurs comprises entre 0,45 et 0,55.

L'amplitude du mode dans la seconde couche 2 est inférieure à 0,4. Le mode est multiplié selon l'exemple de réalisation de la

figure 5 dans la première couche 1 qui, comme décrit ci-dessus, a au moins une propriété dépendant d'un analyte. Ainsi, le chevauchement du champ des modes avec la première couche 1 est grand. A la figure 6, l'amplitude du mode TM dans la région de la surface supérieure du guide d'onde à bandes 202 qui se trouve dans un plan parallèle au plan x-z à la limite de la couche sensible 201 prend des valeurs comprises entre environ 0,6 et environ 0,85. Dans la zone du côté inférieur du guide d'onde à bandes 202 qui se trouve dans un plan parallèle au plan x-z à la limite du substrat 203, l'amplitude du mode est la plus grande, c'est-à-dire qu'elle se situe dans une plage comprise entre environ 0,7 jusqu'à environ 1. A la figure 7, l'amplitude du mode TM dans la région de la surface supérieure du guide d'onde à bandes 202 qui se trouve dans un plan parallèle au plan x-z à la frontière de la couche sensible 201 est la plus grande, c'est-à-dire qu'elle est comprise dans une plage entre 0,75 et environ 1. Dans la région du côté inférieur du guide d'onde à bandes 202 qui se trouve dans un plan parallèle au plan x-z à la frontière du substrat 203, l'amplitude prend des valeurs comprises entre environ 0,6 et environ 0,75. Le mode de l'exemple de réalisation présenté à la figure 7 déployé dans la première couche 1, comme décrit ci-dessus, a au moins une propriété dépendant d'un analyte. Le chevauchement du champ des modes avec la première couche 1 est de ce fait important.

Les figures 8 à 11 montrent des esquisses des résultats de simulation d'une sensibilité d'un dispositif de capteur comportant un guide d'onde 100, 200' pour le mode TE ou le mode TM en fonction du dimensionnement des guides d'onde 100, 200'. Sur l'axe x, on a représenté la largeur du guide d'onde à bandes 4, 202 en nanomètre (nm). L'axe y aux figures 8 et 10, représente l'épaisseur de la couche sensible 201 du guide d'onde à bandes fonctionnalisés 200' à la figure 9 et à la figure 11 avec chaque fois l'épaisseur de la première couche 1 du guide d'onde à fente 3D, 100. A la figure 8 jusqu'à la figure 11, on a des zones avec des nuages de points de densités différentes. Chaque zone est affectée d'une valeur qui représente une mesure d'une sensibilité du guide d'onde 100, 200'. La sensibilité est représentée ici comme différence entre l'indice de réfraction effectif du mode avant le contact avec

l'analyte et de l'indice de réfraction effectif du mode après le contact avec l'analyte, résultant du gonflement de 5 % de la première couche 1 ou de la couche sensible 201. Cette différence est une mesure de la sensibilité du guide d'onde à 100, 200'. Une forte densité du nuage de points correspond à une petite différence ; une faible densité du nuage de points correspond à une grande différence. Plus la différence est grande et plus élevée est la sensibilité du guide d'onde 100, 200'.

La première couche 1 et la couche sensible 201 sont réalisées aux figures 8-figure 11 par un polymère et les guides d'onde à bandes 4, 202 sont réalisés aux figures 8-figure 11 en silicium Si. La figure 8 et la figure 10 montrent des esquisses de résultats de simulation de la sensibilité pour un guide d'onde à bandes, fonctionnalisé, 200' comme celui représenté par exemple à la figure 1a. La figure 8 montre la sensibilité du dispositif de capteur comprenant un guide d'onde à bandes 202 avec une couche sensible 201 sur le substrat 203 en considérant le mode TE. La figure 8 montre les différences entre l'indice de réfraction efficace avant et après son contact avec au moins un analyte, compris entre 0,0005 et 0,003. La figure 9, montre la sensibilité du dispositif de capteur 107 comprenant un guide d'onde à fente 3D, 100, en mode TE. La figure 9 montre les différences de l'indice de réfraction effectif avant et après le contact avec un analyte, comprises entre 0,003 et 0,009. La sensibilité du dispositif de capteur 107 comprenant le guide d'onde à fente 3D, 100 est ainsi très élevée lorsqu'on utilise le mode TE. La figure 10 montre la sensibilité du dispositif de capteur comprenant un guide d'onde à bandes 202 avec une couche sensible 201 sur le substrat 203 en considérant le mode TM. La figure 10 présente les indices de réfraction efficaces avant et après le contact avec au moins un analyte compris entre 0,0005 et 0,002. La figure 11 montre la sensibilité pour un guide d'onde à fente 3D, 100 en considérant le mode TM. La figure 11 met en avant la différence entre les indices de réfraction efficaces avant et après le contact avec au moins un analyte, entre 0,0065 et 0,008. La sensibilité du dispositif de capteur 107 comprenant le guide d'onde à fente 3D, 100 est ainsi très élevée lorsqu'on utilise le mode TM.

La figure 12 montre un ordinogramme d'un procédé 20 pour réaliser le guide d'onde à fente 100. Le procédé (20) comprend les étapes consistant à utiliser (21) le guide d'onde à bandes 100, appliquer (22) la première couche sur le premier guide d'onde à fente 100 et ap-
5 pliquer la seconde couche sur le côté 104 de la première couche 1 qui n'est pas tourné vers le guide d'onde à bandes 100. L'application (22) de la première couche 1 peut se faire avec un procédé de dépôt standard comme par exemple le Spin-coating (en direction centrifuge), le dépôt chimique en phase vapeur (procédé CVD), le dépôt de couches ato-
10 miques (ALD), un procédé chimique par voie humide ou par un dépôt par couches. L'application (23) de la seconde couche 2 peut se faire avec un procédé de dépôt standard comme par exemple le Spin-coating, le dépôt chimique en phase vapeur (CVD), le dépôt d'une couche atomique (ALD), le procédé chimique par voie humide ou le dépôt couche par
15 couche.

NOMENCLATURE DES ELEMENTS PRINCIPAUX

	1	Première couche
	2	Seconde couche
5	3	Substrat
	4	Guide d'onde à bandes
	5	Unité d'exploitation
	20	Procédé de réalisation d'un guide d'onde à fente 3D 100
	21, 22, 23	Etapas du procédé
10	100	Guide d'onde à bandes à fente 3D
	101, 102, 103	Zones sensibles
	105	Surface supérieure
	106	Surface supérieure
	200	Guide d'onde à fente
15	200'	Section d'un guide d'onde à bandes, fonctionnalisé
	201	Couche sensible
	202	Guide d'onde à bandes
	203	Substrat
	204	Zone sensible
20		

RE V E N D I C A T I O N S

- 1°) Guide d'onde à fente 3D (100) comprenant :
- un dispositif de guide d'onde,
 - une première couche (1) ayant un premier indice de réfraction et
5 qui est au moins en partie sur le dispositif guide d'onde, et
 - une seconde couche (2) ayant un second indice de réfraction,
guide d'onde caractérisé en ce que
 - le dispositif de guide d'onde comprend un guide d'onde à bandes
10 (4),
 - la seconde couche (2) est au moins en partie sur le côté (104) de la
première couche (1) à l'opposé du guide d'onde à bandes (4), la
première couche (1) formant une fente du guide d'onde à fente 3D
(100),
 - la seconde couche (2) est au moins partiellement perméable à un
15 analyte, et
 - la première couche (1) a au moins une propriété qui dépend d'un
analyte.
- 2°) Guide d'onde à fente 3D (100) selon la revendication 1,
20 caractérisé en ce que
le premier indice de réfraction est plus petit que le second indice de réfraction.
- 3°) Guide d'onde à fente 3D (100) selon l'une des revendications précédentes,
25 caractérisé en ce que
la première propriété de la première couche (1) qui dépend d'au moins un analyte est le premier indice de réfraction.
- 30 4°) Guide d'onde à fente 3D (100) selon l'une des revendications précédentes,
caractérisé en ce que
la seconde propriété de la première couche (1) qui dépend d'au moins un analyte est le premier indice de réfraction de la première couche (1)
35 et ce premier indice de réfraction est un indice de réfraction complexe.

5°) Guide d'onde à fente 3D (100) selon l'une des revendications précédentes,
caractérisé en ce qu'
une troisième propriété de la première couche (1) qui dépend d'au
5 moins un analyte est une dimension de la première couche (1).

6°) Guide d'onde à fente 3D (100) selon l'une des revendications précédentes,
caractérisé en ce que
10 la seconde couche (2) est en une matière perméable à au moins un analyte.

7°) Guide d'onde à fente 3D (100) selon l'une des revendications précédentes,
15 caractérisé en ce que la seconde couche (2) est en une matière poreuse pour au moins un analyte.

8°) Guide d'onde à fente 3D (100) selon l'une des revendications précédentes,
20 caractérisé en ce que la seconde couche (2) a une dimension de pores, prédéfinie, la seconde couche (2) fonctionnant comme filtre pour les molécules ou les particules et la fonction de filtre dépend de la taille des pores.

25 9°) Dispositif de capteur (107), caractérisé en ce qu'il comporte au moins un guide d'onde à fente 3D (100) selon l'une quelconque des revendications 1 à 8 et une unité d'exploitation (5) pour déterminer
30 l'analyte à partir d'une modification d'au moins une propriété de la première couche (1).

10°) Procédé (20) pour réaliser un guide d'onde à fente 3D (100) selon l'une des revendications 1 à 8,

caractérisé en ce que le procédé comprend les étapes suivantes consistant à :

- utiliser (21) un guide d'onde à bandes (100),
- appliquer (22) la première couche (1) sur le guide d'onde à bandes (100), et
- appliquer (23) la seconde couche (2) sur le côté (104) de la première couche (1) à l'opposé du guide d'onde à bandes (100).

Fig. 1a

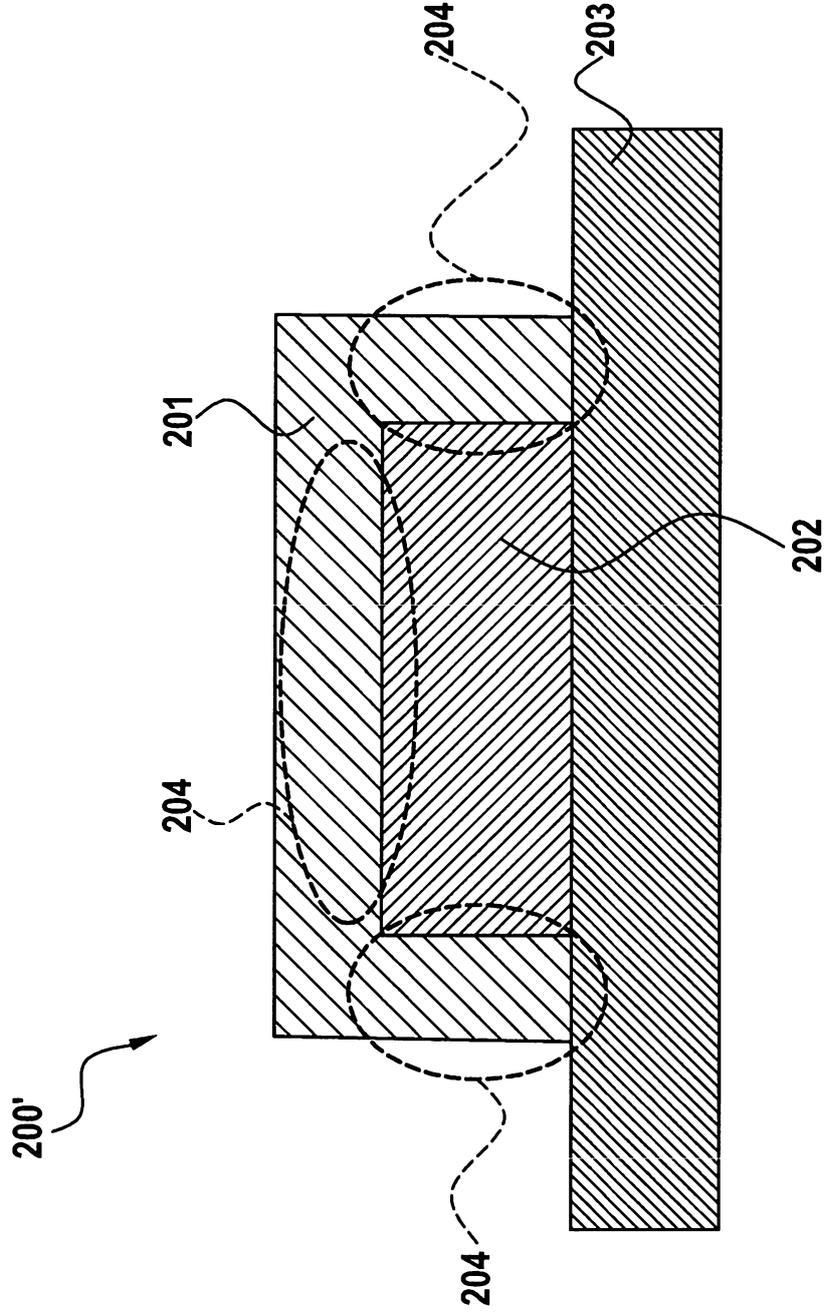
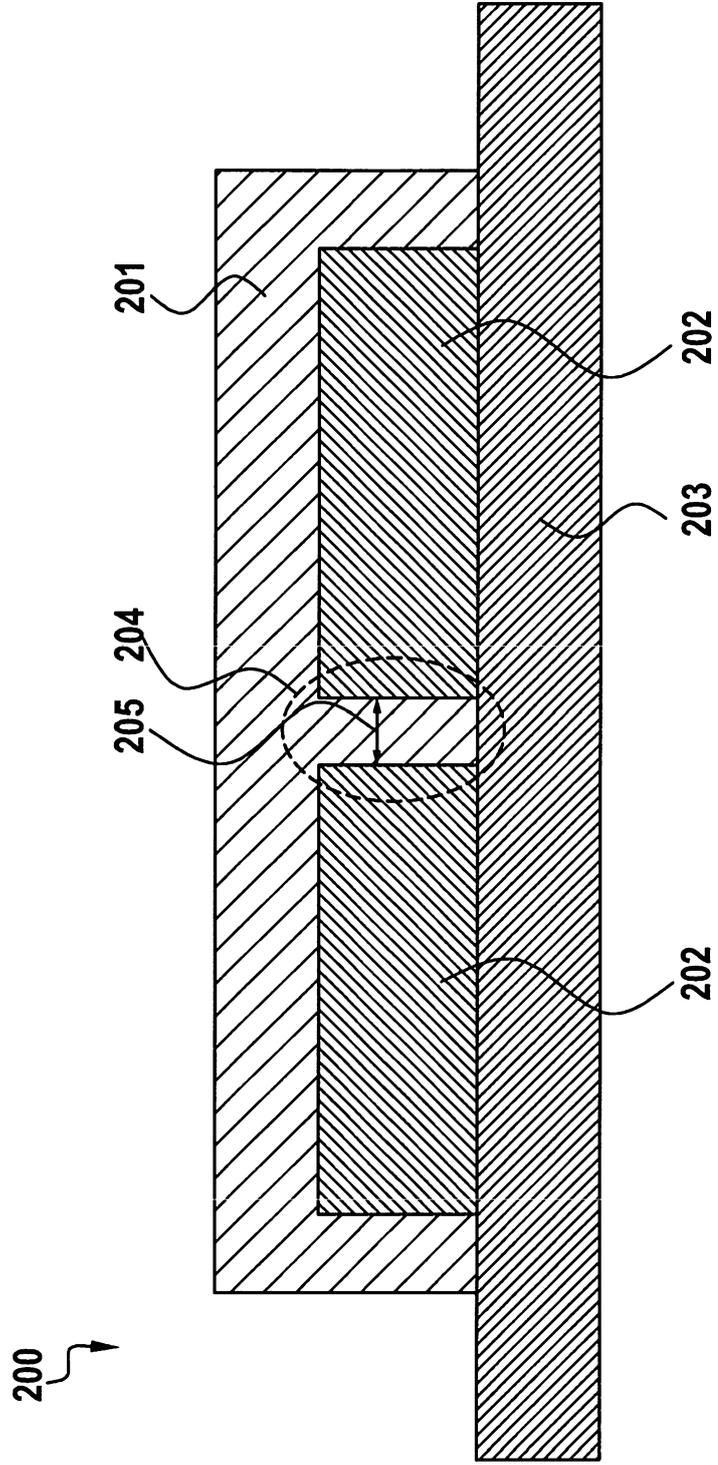


Fig. 1b



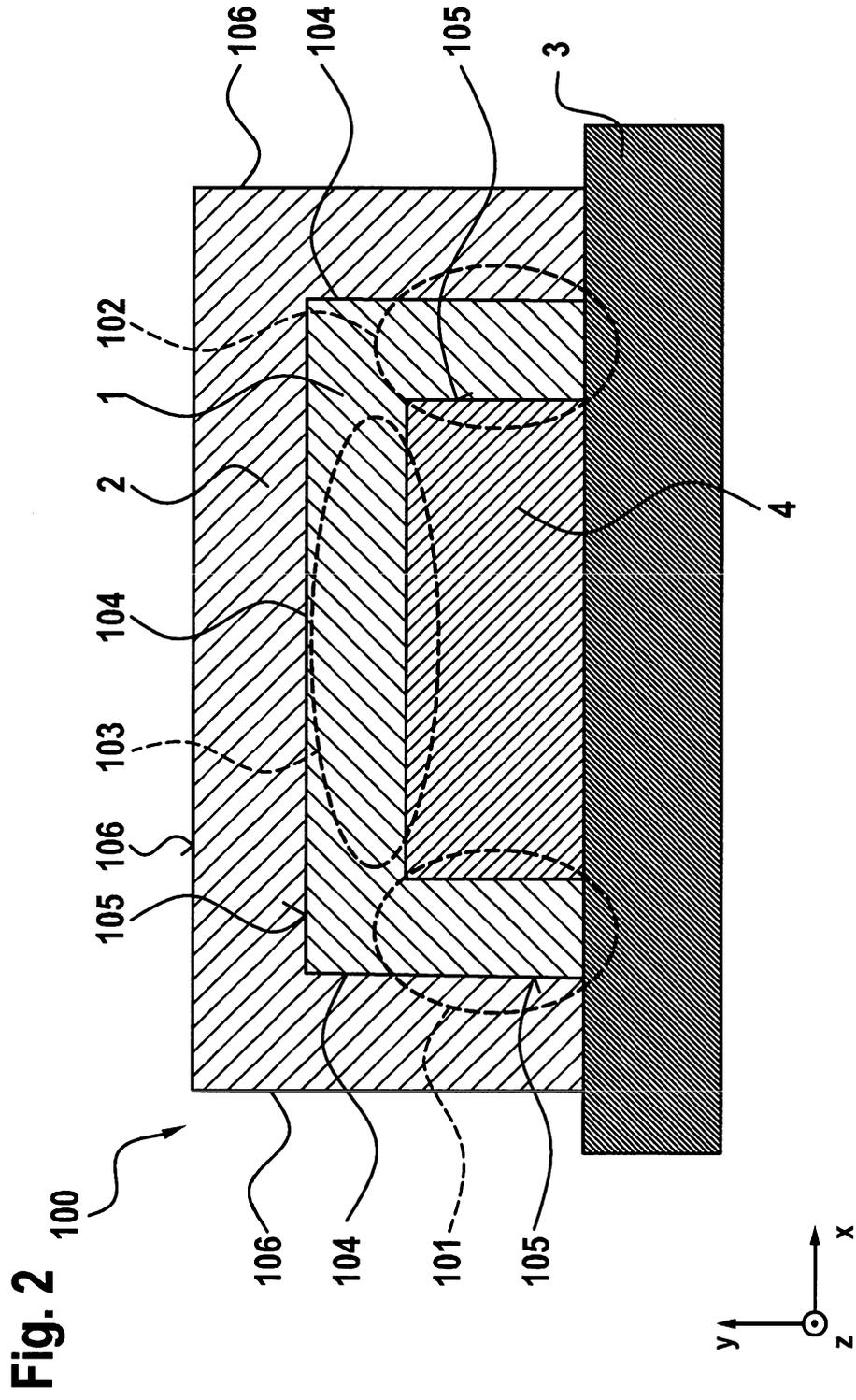


Fig. 3

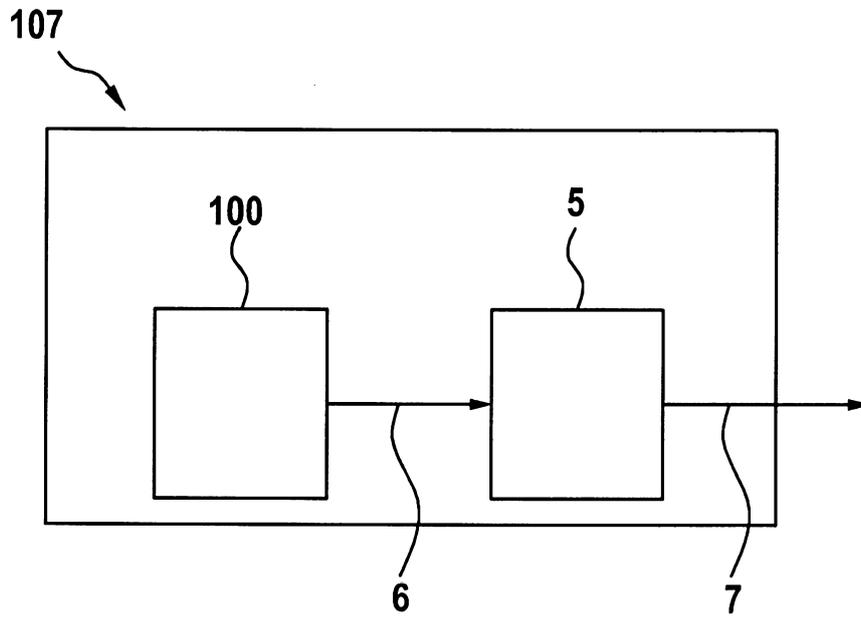


Fig. 4

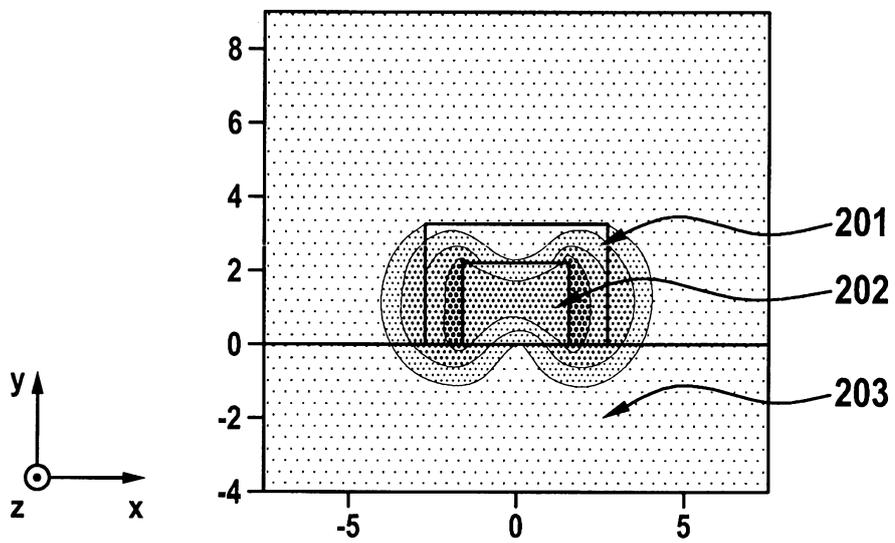


Fig. 5

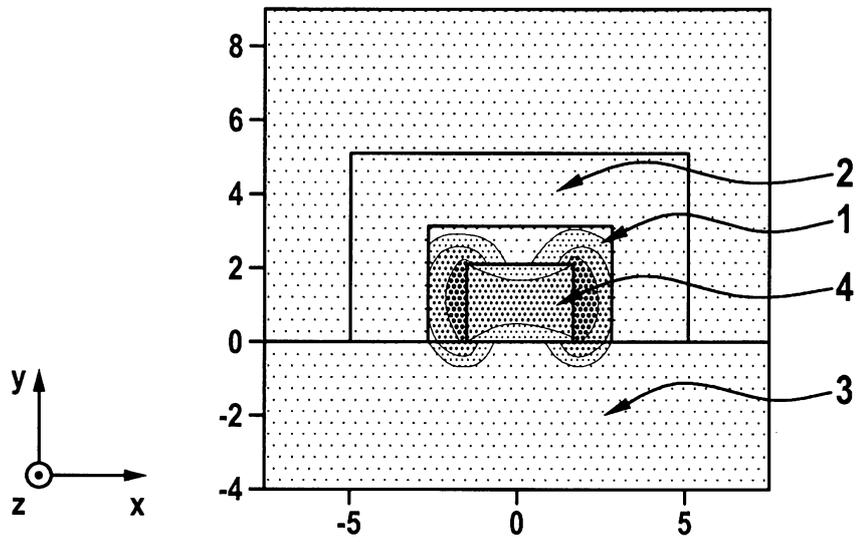


Fig. 6

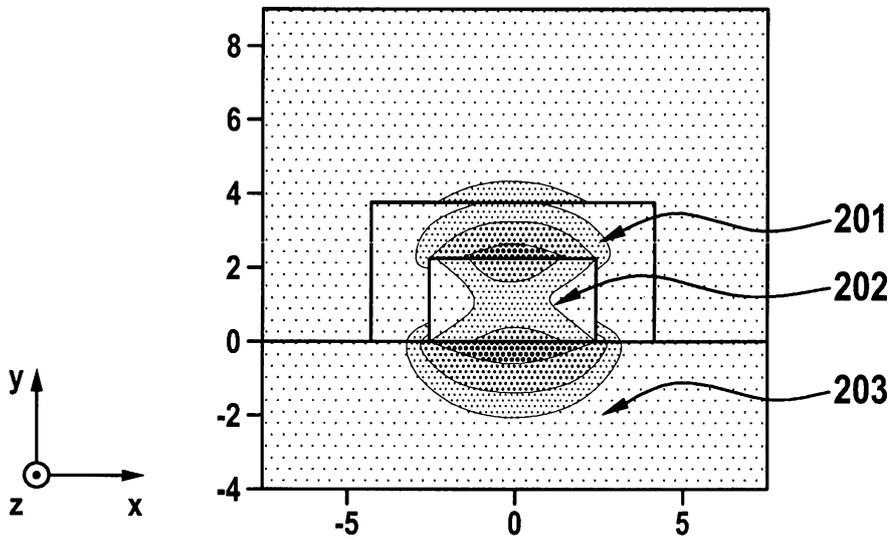


Fig. 7

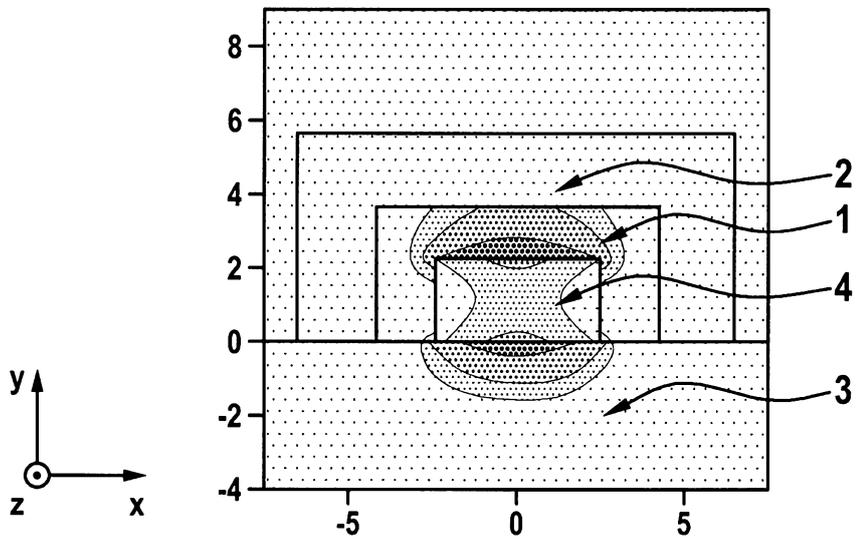


Fig. 8

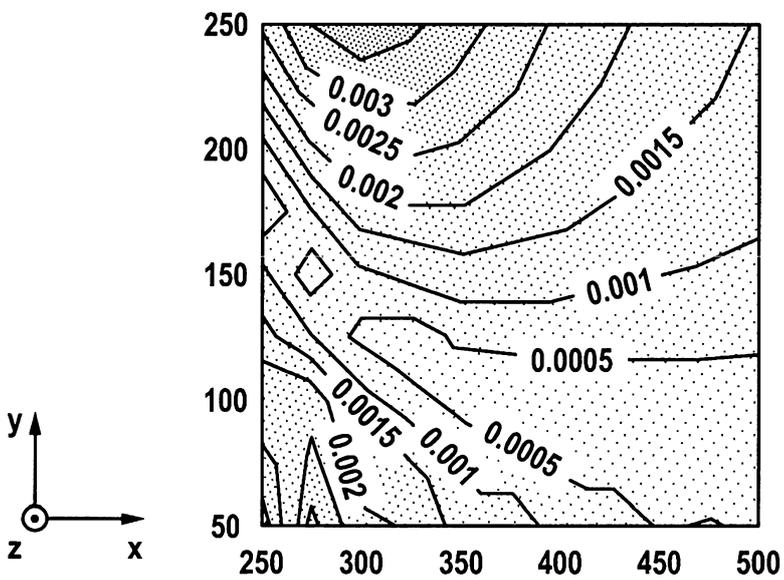


Fig. 9

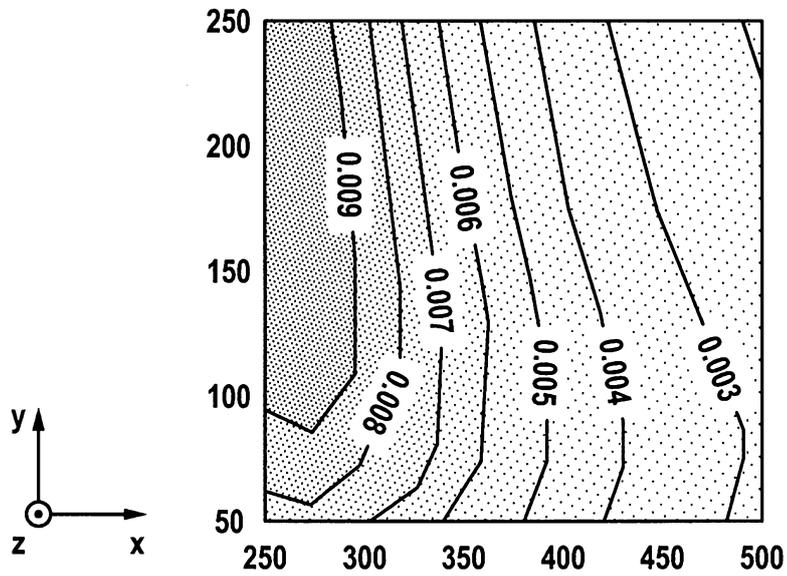


Fig. 10

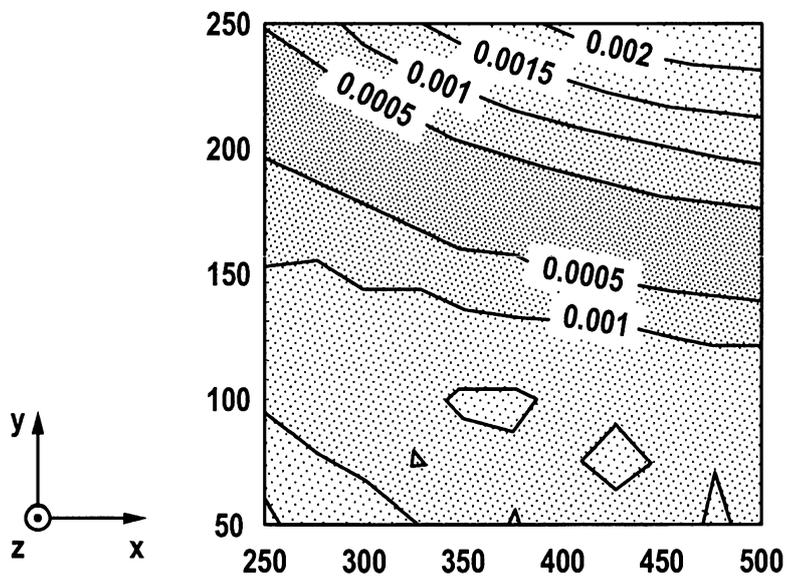


Fig. 11

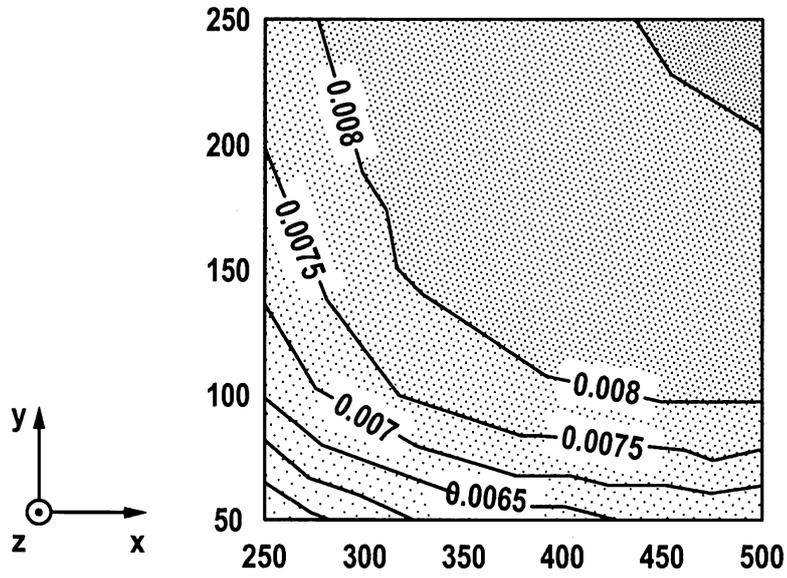
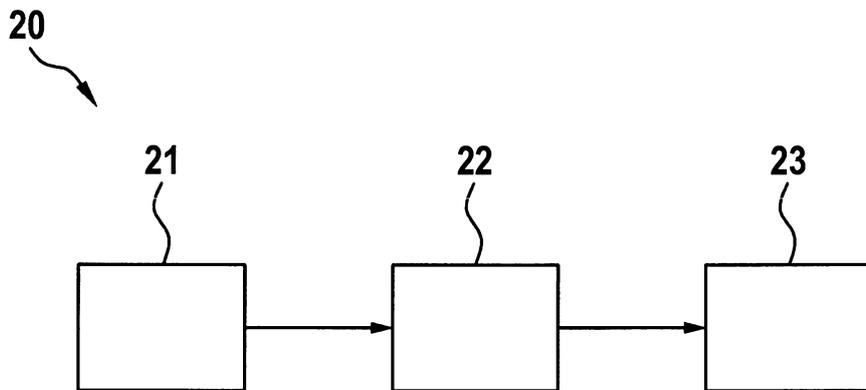


Fig. 12



RAPPORT DE RECHERCHE

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

OBJET DU RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

CONDITIONS D'ETABLISSEMENT DU PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

Le demandeur a maintenu les revendications.

Le demandeur a modifié les revendications.

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

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

Un rapport de recherche préliminaire complémentaire a été établi.

DOCUMENTS CITES DANS LE PRESENT RAPPORT DE RECHERCHE

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

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

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

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

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

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

NEANT

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

EP 2151742 A1 (NITTO DENKO CORP [JP]) 10 février 2010 (2010-02-10)

CN 105158847 A (INST SEMICONDUCTORS CAS) 16 décembre 2015 (2015-12-16)

WO 2013098795 A1 (SELEX GALILEO SPA [IT]) 4 juillet 2013 (2013-07-04)

WO 2013145842 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 3 octobre 2013 (2013-10-03)

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

NEANT