

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

①1 N° de publication : **3 100 345**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

②1 N° d'enregistrement national : **19 09527**

⑤1 Int Cl⁸ : **G 03 F 7/26 (2019.01), G 03 G 16/00**

⑫

BREVET D'INVENTION

B1

⑤4 Procédé de fabrications de structures dissymétriques en résine.

②2 Date de dépôt : 29.08.19.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public
de la demande : 05.03.21 Bulletin 21/09.

④5 Date de la mise à disposition du public du
brevet d'invention : 15.04.22 Bulletin 22/15.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche :

Se reporter à la fin du présent fascicule

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

⑦1 Demandeur(s) : *COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public à caractère industriel et
commercial — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : LANDIS Stefan et LAURENT Romain.

⑦3 Titulaire(s) : *COMMISSARIAT A L'ENERGIE
ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES
Etablissement public à caractère industriel et
commercial.*

⑦4 Mandataire(s) : CABINET HAUTIER.

FR 3 100 345 - B1



Description

Titre de l'invention : Procédé de fabrications de structures dissymétriques en résine

Domaine technique

- [0001] L'invention concerne le domaine de la réalisation de structures dissymétriques c'est-à-dire des structures présentant des flancs dont les inclinaisons ne sont pas identiques sur tout le pourtour de la structure. Elle concerne plus particulièrement la réalisation d'une telle structure en résine.
- [0002] L'invention trouve par exemple pour application avantageuse les réseaux de diffraction appliqués notamment aux domaines de l'affichage ou de l'optronique.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE

- [0003] Pour de nombreuses applications, par exemple dans les domaines de l'affichage ou de l'optronique, il est avantageux de réaliser des structures dont les flancs présentent un ou des inclinaisons dissymétriques.
- [0004] Lorsque ces motifs sont en une dimension (les flancs présentent une inclinaison continue s'étendant depuis le substrat jusqu'au sommet du motif) et qu'ils sont organisés en réseau, ils forment alors un réseau qualifié de réseau blazé ou « blazed grating » en terminologie anglo-saxonne.
- [0005] Les solutions connues pour réaliser des structures dissymétriques font intervenir des étapes de lithographie par faisceau d'électrons (habituellement désigné par l'acronyme EBL du vocable anglais « electron beam lithography ») à modulation de dose.
- [0006] L'EBL est connu pour permettre la réalisation de structures type escalier à plusieurs marches en modulant la dose déposée localement dans la résine positive.
- [0007] Afin d'obtenir des structures avec des inclinaisons dissymétriques et sans marche d'escalier, les deux approches ci-dessous sont possibles.
- [0008] Une première approche consiste à augmenter le nombre de marches pour une hauteur donnée d'escalier. Chacune des marches présente alors une hauteur plus faible et le profil général de la structure se rapproche d'un flanc incliné. Cette première approche présente pour inconvénient de ne pas supprimer la présence de marches. Elle présente surtout comme inconvénient un temps de réalisation et donc un coût particulièrement élevés.
- [0009] Une deuxième approche consiste à faire fluer la résine, c'est-à-dire à imposer un recuit de la résine au-dessus de sa température de transition vitreuse, afin de lisser le profil en marches d'escalier. Cette approche a été proposée dans l'article « Fabrication of 3D patterns with vertical and sloped sidewalls by grayscale electron-beam lithography and thermal annealing » publié par Arne Schleunitz, Helmut Schiff dans la

revue *Microelectronic Engineering*, 88 (2011) 2736–2739.

- [0010] Les figures 1A à 1D sont tirées de cet article. Les figures 1A et 1B sont des photos prises par microscope électronique à balayage (SEM) d'une structure multiniveaux en forme d'escalier présentant respectivement quatre marches 22-25 et trois marches 22-24.
- [0011] La structure en forme d'escalier comporte une portion 10 formant le haut de l'escalier et une portion 20 formant les marches 22-25.
- [0012] La portion 10 présente un sommet 12 et un flanc 11 perpendiculaire au substrat. La portion 10 n'a pas reçu de dose.
- [0013] La portion 20 est formée dans une partie de la résine positive ayant reçu une dose trop faible pour être complètement développée.
- [0014] Les figures 1C et 1D illustrent les résultats obtenus après fluage des structures des figures 1A et 1B respectivement. Chacune de ces structures présente un flanc 11 formé par la portion 10 et dont l'inclinaison est différente de celle du flanc 21 obtenu par fluage de la portion 20.
- [0015] Il s'avère en pratique que ce type de solution n'est pas compatible avec des débits de production et de grandes surfaces d'exposition. Cela limite donc son utilisation à l'échelle industrielle avec des coûts raisonnables.
- [0016] Par ailleurs, on constate un décroché 13 ou une marche entre le sommet 12 de la portion 10.
- [0017] Il existe donc un besoin consistant à proposer une solution pour atténuer, voire pour supprimer, au moins l'un des inconvénients des solutions de l'état de la technique.
- [0018] Tel est un objectif de la présente invention.
- [0019] En particulier, un objectif de la présente invention consiste à proposer une solution pour obtenir une structure présentant des flancs d'inclinaison différente avec une productivité améliorée par rapport aux solutions connues.
- [0020] Les autres objets, caractéristiques et avantages de la présente invention apparaîtront à l'examen de la description suivante et des dessins d'accompagnement. Il est entendu que d'autres avantages peuvent être incorporés.

[0021] **RÉSUMÉ**

[0022] Pour atteindre cet objectif, selon un mode de réalisation la présente invention prévoit un procédé de réalisation d'au moins une structure dissymétrique, i.e. une structure comprenant des motifs présentant, de préférence sur un même niveau de hauteur, des flancs présentant des inclinaisons différentes α_{211} , α_{221} par rapport à un plan (XY) dans lequel s'étend principalement une face d'un substrat sur laquelle repose la structure, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- Fournir un empilement comprenant un substrat surmonté d'au moins une couche de résine photosensible ou électrosensible, la résine étant telle que :

- lorsque la résine est exposée à une dose d'insolation $D < D_{inversion}$, elle présente un comportement de résine positive et flue lorsqu'elle est soumise à une température T supérieure ou égale à une température de transition vitreuse T_{fluage} de la résine, et
- lorsque la résine est exposée à une dose d'insolation $D \geq D_{inversion}$, elle présente un comportement de résine négative et ne flue pas à, ou au-delà de, la température T_{fluage} .
- Former au moins un premier motif par exposition d'au moins une première zone de la résine avec une première dose $D1 \geq D_{inversion}$, la première zone définissant pour la structure le premier motif, le premier motif présentant un pourtour comprenant au moins un premier flanc, le premier flanc présentant une première inclinaison α_{211} par rapport audit plan (XY),
- Avant ou après formation du premier motif, former au moins un deuxième motif notamment par exposition d'au moins une deuxième zone de la résine, la deuxième zone étant au moins en partie différente de la première zone, avec une deuxième dose $D2 < D_{inversion}$, puis développer la deuxième zone de sorte à laisser en place en dehors de la deuxième zone de la résine définissant l'au moins un deuxième motif,
- Effectuer une étape de fluage en appliquant à l'empilement une température $T \geq T_{fluage}$ pendant une durée contrôlée d , de sorte à faire fluer le deuxième motif sans faire fluer le premier motif, jusqu'à ce que le deuxième motif flue sur au moins une partie du premier motif en laissant à découvert au moins partiellement le premier flanc du premier motif présentant ladite première inclinaison α_{211} , définissant au moins un deuxième flanc pour la structure, le deuxième flanc présentant par rapport audit plan une deuxième inclinaison α_{221} différente de la première inclinaison α_{211} .

[0023] Une résine à tonalité positive est dissoute lorsqu'elle est exposée à la source de photons ou d'électrons puis qu'elle est immergée dans un développeur, par exemple une solution aqueuse faiblement basique ou un solvant. Dans le cadre de la présente invention on qualifie de Dactivation la dose minimale qu'il faut apporter à la résine positive pour être activée, c'est à dire pour être dissoute lors de l'étape de développement. Les zones de la résine positive n'ayant pas reçu de dose supérieure égale à Dactivation ne sont pas activées. Ces zones restent donc en place après l'étape de développement et forment des motifs de résine positive.

[0024] Par ailleurs, ces motifs de résine positive subsistant après développement fluent lorsqu'ils sont soumis à une température supérieure à la température de transition vitreuse (T_{fluage}) de la résine.

[0025] Une résine à tonalité négative réagit de manière inverse. Ce sont les zones non

exposées qui sont dissoutes lors de l'étape de développement.

[0026] Dans le cadre de l'invention, on prévoit d'utiliser une résine pouvant sélectivement adopter le comportement d'une résine à tonalité positive et d'une résine à tonalité négative en fonction de la dose qui lui est appliquée.

[0027] Plus précisément, on utilise des résines dites positives dans leur gamme d'utilisation habituelle, et qui peuvent adopter un comportement de résines négatives lorsque ces dernières sont exposées à des doses supérieures à un seuil. La dose minimale qu'il faut appliquer à une résine positive pour inverser sa tonalité est notée $D_{inversion}$ dans la présente description.

[0028] On prévoit donc de réaliser dans le même matériau à la fois des motifs formés dans de la résine positive et des motifs formés dans de la résine négative. Les motifs formés dans la résine positive peuvent fluer et donc voir leurs formes se modifier tandis que les motifs formés dans la résine négative resteront stables et ne seront que très peu ou pas affectés par l'étape de fluage.

[0029] Ainsi, au sein d'une même structure :

- les motifs de résine négative définissent des flancs présentant une première inclinaison. Par exemple ces motifs présentent une inclinaison verticale (perpendiculaire à une face du substrat sur lequel repose la structure) et définissent ainsi un profil binaire.
- les motifs de résine positive définissent des flancs présentant une deuxième inclinaison différente de la première inclinaison. Typiquement, ces motifs de résine positive présentent une pente plus douce que ceux formés en résine négative et définissent pour la structure des contours analogiques.

[0030] La solution proposée permet de réduire considérablement le nombre d'étapes et donc la durée d'exécution par comparaison à la solution de l'état de la technique présenté ci-dessus et nécessitant une structure de départ multiniveaux.

[0031] La solution proposée permet donc d'augmenter considérablement les débits de production.

[0032] Par ailleurs, cette solution est parfaitement compatible avec de grandes surfaces d'exposition. En effet, cette solution permet en une seule étape de former de très nombreux motifs à la surface d'un substrat et ne nécessite pas l'utilisation d'une lithographie localisée telle qu'une lithographie par faisceau d'électrons.

[0033] En outre, contrairement à la solution de l'état de la technique mentionné ci-dessus, la solution proposée présente pour avantage de ne pas nécessiter l'utilisation de résines compatibles avec une lithographie à niveaux de gris.

[0034] Par ailleurs, contrairement à l'état de la technique mentionné ci-dessus, la solution proposée permet aisément d'éviter l'apparition d'un décroché ou d'une marche entre une première portion de structure formant un flanc présentant une première inclinaison

et une deuxième portion de structure formant un flanc présentant une deuxième inclinaison.

[0035] En outre, la solution proposée permet d'obtenir au niveau du motif en résine positive un profil parfaitement analogique, contrairement aux solutions de la technique basée sur un grand nombre de marches écrites dans la résine.

[0036] Par ailleurs, il s'avère qu'avec le procédé proposé on n'observe dans la structure finale qu'une très faible discontinuité, voire aucune discontinuité, entre le motif stabilisé avant fluage et le motif sensible au fluage. Ainsi, la structure présente une parfaite homogénéité de matière. La structure présente donc des propriétés homogènes dans tout son volume, notamment des propriétés homogènes en termes de résistance à la gravure. Cela présente de nombreux avantages notamment pour des étapes ultérieures de fabrication, consistant par exemple à transférer la forme de la structure de résine dans un matériau fonctionnel. Du fait de cette homogénéité de matière constituant la structure, il sera possible de reproduire avec une très grande fidélité les formes de cette dernière dans une couche fonctionnelle.

[0037] Un autre aspect de la présente invention concerne une structure faite d'une résine photosensible ou électrosensible et présentant :

- au moins un premier flanc présentant une première inclinaison α_{211} par rapport à un plan dans lequel s'étend principalement une face d'un substrat sur laquelle repose la structure et
- au moins un deuxième flanc présentant une deuxième inclinaison α_{221} différente de la première inclinaison α_{211} .

[0038] Le premier flanc est constitué par une portion de ladite résine présentant un comportement de résine négative et le deuxième flanc est constitué par une portion de ladite résine présentant un comportement de résine positive.

[0039] De manière avantageuse, les portions de ladite résine constituant le premier flanc et le deuxième flanc présentent la même composition chimique.

[0040] Par exemple, la portion de la résine formant le premier flanc présente une masse molaire différente de celle de la portion de résine formant le deuxième flanc.

BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0041] Les buts, objets, ainsi que les caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description détaillée de modes de réalisation de cette dernière qui sont illustrés par les dessins d'accompagnement suivants dans lesquels :

[0042] [fig.1A] Les figures 1A et 1B sont des photos par microscope électronique à balayage (SEM) de structures multiniveaux selon l'état de la technique, c'est à dire des structures présentant une forme d'escalier.

[0043] [fig.1B]

- [0044] [fig.1C] Les figures 1C et 1D illustrent les résultats obtenus après fluage des structures des figures 1A et 1B respectivement.
- [0045] [fig.1D]
- [0046] [fig.2A] La figure 2A est une structure que l'on peut obtenir en mettant en œuvre une technique de lithographie classique.
- [0047] [fig.2B] La figure 2B est une structure que l'on peut obtenir en faisant fluer la structure illustrée en figure 2A, les figures 2A et 2B présentant des flancs symétriques.
- [0048] [fig.2C] La figure 2C est une structure dissymétrique que l'on peut obtenir en mettant en œuvre le procédé selon l'invention.
- [0049] [fig.3A] Les figures 3A à 3K illustrent de manière schématique des étapes d'un mode de réalisation de l'invention permettant d'obtenir une structure dissymétrique.
- [0050] [fig.3B]
- [0051] [fig.3C]
- [0052] [fig.3D]
- [0053] [fig.3E]
- [0054] [fig.3F]
- [0055] [fig.3G]
- [0056] [fig.3H]
- [0057] [fig.3I]
- [0058] [fig.3J]
- [0059] [fig.3K]
- [0060] [fig.4A] Les figures 4A à 4G illustrent de manière schématique des étapes d'un autre mode de réalisation de l'invention.
- [0061] [fig.4B]
- [0062] [fig.4C]
- [0063] [fig.4D]
- [0064] [fig.4E]
- [0065] [fig.4F]
- [0066] [fig.4G]
- [0067] [fig.5A] Les figures 5A à 5J illustrent de manière schématique des étapes d'un autre mode de réalisation de l'invention.
- [0068] [fig.5B]
- [0069] [fig.5C]
- [0070] [fig.5D]
- [0071] [fig.5E]
- [0072] [fig.5F]
- [0073] [fig.5G]
- [0074] [fig.5H]

- [0075] [fig.5I]
- [0076] [fig.5J]
- [0077] [fig.6A] Les figures 6A et 6B illustrent, respectivement en vue du dessus et en coupe, une structure que l'on peut obtenir, avant fluage, en mettant en œuvre un mode de réalisation de l'invention.
- [0078] [fig.6B]
- [0079] [fig.6C] Les figures 6C et 6D illustrent, respectivement en vue du dessus et en coupe, la structure illustrée en figure 6A et 6B que l'on peut obtenir après fluage.
- [0080] [fig.6D]
- [0081] [fig.7A] Les figures 7A et 7B sont respectivement une illustration schématique en vue du dessus et une photo en perspective d'une structure que l'on peut obtenir, avant fluage, en mettant en œuvre un mode de réalisation de l'invention.
- [0082] [fig.7B]
- [0083] [fig.7C] Les figures 7C et 7D correspondent aux structures des illustrations 7A et 7B que l'on peut obtenir après fluage.
- [0084] [fig.7D]
- [0085] [fig.8] La figure 8 est un diagramme présentant un exemple d'évolution des inclinaisons des motifs formés de résine positive, en fonction des conditions de fluage.
- [0086] [fig.9] La figure 9 est une photo en perspective illustrant un exemple de réseau de structure en ligne que l'on peut obtenir avec le procédé selon l'invention.
- [0087] [fig.10A] Les figures 10A et 10B sont des photos en coupe, avec des grossissements décroissants, d'une structure en ligne visible en figure 9.
- [0088] [fig.10B]
- [0089] [fig.11A] Les figures 11A et 11B sont des photos en perspective, respectivement avant et après fluage d'une structure comprenant des lignes parallèles formées d'une résine stabilisée et des plots formés d'une résine à tonalité positive sensible au fluage.
- [0090] [fig.11B]
- [0091] [fig.12] La figure 12 illustre de manière schématique une structure présentant deux flancs présentant des inclinaisons différentes et inclinées par rapport à la normale au substrat sur lequel repose la structure.
- [0092] [fig.13A] Les figures 13A à 13G illustrent de manière schématique des étapes d'un mode de réalisation de l'invention permettant d'obtenir la structure illustrée en figure 12.
- [0093] [fig.13B]
- [0094] [fig.13C]
- [0095] [fig.13D]
- [0096] [fig.13E]
- [0097] [fig.13F]

[0098] [fig.13G]

[0099] Les dessins sont donnés à titre d'exemples et ne sont pas limitatifs de l'invention. Ils constituent des représentations schématiques de principe destinées à faciliter la compréhension de l'invention et ne sont pas nécessairement à l'échelle des applications pratiques. En particulier les épaisseurs relatives des différentes couches et des différents motifs ne sont pas nécessairement représentatifs de la réalité.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

[0100] Avant d'entamer une revue détaillée de modes de réalisation de l'invention, sont énoncées ci-après des caractéristiques optionnelles qui peuvent éventuellement être utilisées en association ou alternativement :

[0101] Selon un exemple, l'étape de formation du deuxième motif est effectuée après l'étape de formation du premier motif.

[0102] Selon un exemple, la résine de l'au moins une couche exposée pour former le premier motif est identique, en particulier elle présente la même nature chimique, que la résine de l'au moins une couche exposée pour former le deuxième motif. Ainsi, la structure comprenant les premier et deuxième motifs est parfaitement homogène. Cela permet de simplifier considérablement les étapes ultérieures du procédé, et en particulier les étapes de transfert de la structure dans un autre substrat avec une haute précision.

[0103] Selon un exemple, l'étape de formation du premier motif et l'étape de formation du deuxième motif sont effectuées de sorte qu'avant l'étape de fluage le deuxième motif est au contact du premier motif.

[0104] Selon un exemple, l'étape de formation de l'au moins un premier motif et l'étape de formation de l'au moins un deuxième motif sont effectuées dans un même équipement de lithographie et sans retirer l'empilement dudit équipement entre ces deux étapes.

[0105] On évite ainsi une étape de réalignement des masques entre chacune des étapes d'exposition. La précision de l'alignement des motifs stabilisés et des motifs sensibles au fluage est ainsi considérablement améliorée. Par ailleurs, le nombre d'étapes est réduit par rapport à un procédé qui implique un réalignement des masques.

[0106] Selon un exemple, le procédé comprend, après l'étape de formation du premier motif et avant l'étape de formation du deuxième motif, une étape de dépôt d'une couche additionnelle de ladite résine, la deuxième zone exposée pour former le deuxième motif étant prise dans la couche additionnelle et le deuxième motif étant formé dans la couche additionnelle.

[0107] Selon un exemple, la couche additionnelle et la couche dans laquelle les premiers motifs sont formés présentent une même nature, c'est-à-dire une même composition chimique. Par ailleurs, à l'issue de leur dépôt elles présentent toutes les deux une

tonalité positive.

- [0108] Selon un exemple, avant l'étape de fluage le deuxième motif recouvre un sommet du premier motif et une partie au moins, et de préférence toute la hauteur, d'une portion du pourtour du premier motif, la hauteur étant prise selon une direction normale à un plan dans lequel s'étend principalement la face du substrat sur laquelle repose la couche de résine.
- [0109] Selon un exemple, l'étape de formation du premier motif et l'étape de formation du deuxième motif sont effectuées de sorte qu'avant l'étape de fluage du deuxième motif, le deuxième motif recouvre une partie au moins du pourtour du premier motif, de préférence soit au contact d'une partie du premier motif, sans recouvrir un sommet du premier motif.
- [0110] Selon un exemple, lors de l'étape de formation du premier motif, l'exposition de l'au moins une première zone avec la dose D_1 expose simultanément, en périphérie de la première zone, une portion de la deuxième zone avec une dose supérieure ou égale à $D_{activation}$ et inférieure à $D_{inversion}$, de sorte qu'avant l'étape de fluage le deuxième motif est à distance du premier motif.
- [0111] Selon un exemple, avant l'étape de fluage le deuxième motif est à distance du premier motif, les dimensions du deuxième motif et les conditions de fluage, en particulier la durée d et la température T , sont réglées de sorte qu'à la fin de l'étape de fluage le deuxième motif soit au contact du premier motif.
- [0112] De préférence, les dimensions du deuxième motif et les conditions de fluage sont réglées de sorte qu'à la fin de l'étape de fluage un sommet du deuxième motif soit au contact d'un sommet du premier motif.
- [0113] Selon un exemple, l'inclinaison dudit premier flanc du premier motif forme un angle droit avec ledit plan XY dans lequel s'étend ladite face du substrat.
- [0114] Avant la formation de l'au moins un premier motif, le procédé comprend :
- une étape de formation d'au moins un motif préalable en exposant au moins une zone préalable de la résine avec une dose $D_p < D_{inversion}$ puis en développant l'au moins une zone préalable de sorte à définir l'au moins un motif préalable,
 - une étape de fluage de l'au moins un motif préalable de sorte à ce que le motif préalable comprenne au moins un flanc présentant ladite première inclinaison α et destiné à former ledit premier flanc.
- [0115] Selon un exemple, l'exposition d'au moins une première zone de la résine avec une première dose $D_1 \geq D_{inversion}$ est appliquée au motif préalable, de sorte à définir ledit premier motif dont le premier flanc présente ladite première inclinaison.
- [0116] Selon un exemple, L'inclinaison dudit premier flanc du premier motif forme un angle α avec ledit plan XY, avec $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ et de préférence avec $95^\circ \leq \alpha < 175^\circ$.

- [0117] Selon un exemple, l'étape d'exposition d'au moins une première zone de la résine avec une première dose $D1 \geq D_{inversion}$ est appliquée sur toute la structure.
- [0118] Selon un exemple, le procédé comprend, après l'étape de formation du premier motif et avant l'étape de formation du deuxième motif, une étape de dépôt d'une couche additionnelle de ladite résine, la deuxième zone exposée pour définir le deuxième motif étant prise dans la couche additionnelle et le deuxième motif étant formé dans la couche additionnelle.
- [0119] Selon un exemple, l'étape de formation du premier motif, l'étape de formation du deuxième motif et l'étape de fluage sont effectuées de sorte qu'à la fin de l'étape de fluage un sommet du premier motif soit au contact d'un sommet du deuxième motif.
- [0120] Selon un exemple, le sommet de chaque motif est le point le plus haut de ce motif.
- [0121] Selon un exemple, le procédé comprend, après l'étape de fluage, une étape d'insolation au moins du deuxième motif avec une dose d'insolation $D_f \geq D_{inversion}$.
- [0122] Cette étape permet de stabiliser la résine. Les motifs formés par fluage ne sont alors plus, ou sont moins, sensibles à la chaleur et conservent la géométrie obtenue en fin d'étape de fluage.
- [0123] Par ailleurs, cette étape de stabilisation permet également d'améliorer l'homogénéité chimique de la résine formant les premier et deuxième motifs. La structure formée par les premier et deuxième motifs présente alors un comportement parfaitement homogène dans l'espace. Par exemple elle présente dans tout son volume des propriétés homogènes de résistance à la gravure. Cela est particulièrement avantageux pour les étapes ultérieures, en particulier celles au cours desquelles la structure de résine sera transférée par gravure dans un autre matériau.
- [0124] Selon un exemple, le premier motif et le deuxième motif reposent sur une même couche en étant contact de cette couche.
- [0125] De préférence, le premier motif et le deuxième motif sont au contact d'une face supérieure du substrat.
- [0126] Avantageusement, le premier motif et le deuxième motif sont formés dans une même résine. Cela permet de simplifier les étapes d'intégration ultérieure.
- [0127] En effet le premier motif et le deuxième motif présentent des comportements identiques, par exemple à la gravure ce qui est particulièrement avantageux lorsque la structure sera transférée par gravure dans une couche sous-jacente.
- [0128] Dans le cadre de la présente invention, on qualifie de résine un matériau organique ou organo-minéral pouvant être mis en forme par une exposition à un faisceau d'électrons, de photons, de rayons X, un faisceau de lumière dans la gamme des ultraviolets, des extrêmes ultraviolets (UEV) ou des ultraviolets profonds (Deep UV) typiquement dans la gamme de longueurs d'onde de 193 nm à 248 nm, les raies d'émissions d'une lampe mercure, soit : 365 nm pour la I line, 435 nm pour la G line et

404 nm pour la H line. L'invention s'applique également aux résines qui peuvent être mises en forme mécaniquement, notamment par impression assistée thermiquement ou par ultraviolets.

[0129] Dans le cadre de la présente invention, les résines utilisées sont des résines à tonalité positive habituellement utilisées en lithographie. Ces résines à tonalité positive peuvent voir leur tonalité s'inverser, pour présenter un comportement de résine à tonalité négative lorsqu'elles reçoivent une dose supérieure à une dose $D_{inversion}$.

[0130] On dit qu'une résine positive voit sa tonalité s'inverser pour devenir une résine négative si, après avoir exposé une zone de la résine positive en lui appliquant une dose $D \geq D_{inversion}$:

- le motif défini par la zone exposée ne flue pas à la température de transition vitreuse T_{fluage} de la même résine lorsqu'elle présente son comportement initial de résine positive.
- cette zone exposée reste en place à l'issue d'une étape de développement classique, étape de développement qui permettrait de faire disparaître les zones de cette résine exposées à une dose supérieure à la dose d'activation $D_{activation}$.

[0131] Pour savoir si une résine présente cette capacité à voir sa tonalité s'inverser plusieurs méthodes existent. On peut par exemple réaliser pour cette résine une courbe de contraste (habituellement désignée par le vocable anglais contrast curve), bien connue de l'homme du métier. Pour réaliser cette courbe, on peut mesurer l'épaisseur de la résine restante après développement en fonction de la dose d'exposition appliquée à la résine, cette dose d'exposition étant choisie dans une plage bien supérieure à la plage habituellement utilisée pour cette résine.

[0132] La courbe de contraste présente alors sur l'axe des abscisses les doses appliquées et sur l'axe des ordonnées les épaisseurs mesurées de résine après chaque cycle d'exposition et de développement. Typiquement, pour une valeur en abscisses comprises entre zéro et $D_{activation}$, la courbe correspond à une épaisseur de la résine qui reste constante et qui est sensiblement égale à l'épaisseur initiale de la résine. Pour une dose D supérieure ou égale à $D_{activation}$, l'épaisseur devient nulle car la résine est développée. Puis, si une augmentation en abscisse de la dose d'exposition provoque une augmentation de l'épaisseur de résine, cela signifie que cette résine présente ce comportement d'inversion. Cette augmentation de l'épaisseur permet également d'identifier le seuil d'exposition $D_{inversion}$ au-delà duquel cette inversion s'effectue. De préférence, au-delà de ce seuil $D_{inversion}$ l'épaisseur de la résine reste constante et est proche de son épaisseur initiale.

[0133] On peut citer à titre d'exemple des résines classiquement employées en microélectronique, des résines à base de méthacrylate (par exemple le Polyméthyl méthacrylate

PMMA), de polyhydroxystyrène (PHS) et les résines basées sur des principes de photo-décomposition telles que des résines azide quinone, i.e, diazonaphthaquinone (DQ).

- [0134] Dans la présente demande de brevet, on qualifie de dose une quantité d'énergie reçue par une résine par unité de surface. Cette énergie peut être sous forme de photons (photolithographie) pour une résine photosensible. La dose est alors habituellement exprimée en Joules par m², ou plus souvent en milli Joules (mJ) par cm⁻² (10⁻² m²) soit en mJ/m².
- [0135] Cette énergie peut également être sous forme d'électrons (lithographie électronique) pour une résine électrosensible. La dose est alors habituellement exprimée en Coulombs par m², ou plus souvent en micro Coulombs (μC) par cm⁻² (10⁻² m²) soit en μC /m².
- [0136] On entend par « nature » d'un matériau tel qu'une résine sa composition chimique, c'est-à-dire la nature et la proportion des espèces constituant le matériau. Deux couches sont considérées comme faites d'une même résine si elles présentent la même composition chimique.
- [0137] Une même résine peut présenter des zones dont les comportements diffèrent vis-à-vis des solutions de développement. La différenciation de ces zones est obtenue par la dose d'énergie appliquée lors d'une exposition à chacune de ces zones. Ainsi, ces zones diffèrent par leur masse molaire. On peut par exemple mesurer ces masses molaires par chromatographie ou par spectrométrie de masse.
- [0138] Ainsi deux portions ou zones d'une même résine peuvent être de même composition chimique mais présenter des tonalités différentes.
- [0139] Dans la présente demande de brevet, l'épaisseur d'une couche est mesurée selon une direction perpendiculaire à plan dans lequel s'étend principalement le substrat sur lequel repose la couche. Sur les figures, cette épaisseur est mesurée selon la direction Z du repère orthogonal XYZ.
- [0140] Lorsqu'on indique qu'un élément, par exemple une zone de résine, est situé au droit d'un autre élément, par exemple l'ouverture d'un masque, cela signifie que ces deux éléments sont situés sur une même ligne perpendiculaire au plan principal dans lequel s'étend principalement une face du substrat, c'est-à-dire sur une même ligne orientée verticalement sur les figures.
- [0141] Dans la présente demande de brevet, une inclinaison α formée par un profil ou un flanc d'un motif correspond à l'angle formé entre la surface sur laquelle repose ce motif et la tangente à ce profil ou ce flanc au niveau du contact entre ce dernier et ladite surface.
- [0142] Il est précisé que, dans le cadre de la présente invention, les termes « sur », « surmonte », « recouvre », « sous-jacent », en « vis-à-vis » et leurs équivalents ne si-

gnifient pas forcément « au contact de ». Ainsi par exemple, le dépôt, le report, le collage, l'assemblage ou l'application d'une première couche sur une deuxième couche, ne signifie pas obligatoirement que les deux couches sont directement au contact l'une de l'autre, mais signifie que la première couche recouvre au moins partiellement la deuxième couche en étant soit directement à son contact, soit en étant séparée d'elle par au moins une autre couche ou au moins un autre élément.

[0143] De même, lorsque l'on indique qu'un motif ou qu'une structure surmonte un substrat, cela peut signifier que le motif ou la structure sont directement au contact du substrat ou bien qu'une ou plusieurs couches sont interposées entre le motif ou la structure et le substrat.

[0144] Le terme « étape » ne signifie pas obligatoirement que les actions menées durant une étape soient simultanées ou immédiatement successives. Certaines actions d'une première étape peuvent notamment être suivies d'actions liées à une étape différente, et d'autres actions de la première étape peuvent être reprises ensuite. Ainsi, le terme étape ne s'entend pas forcément d'actions unitaires et inséparables dans le temps et dans l'enchaînement des phases du procédé.

[0145] L'invention va maintenant être décrite en référence aux figures 2A à 13G.

[0146] Avant de décrire en détail les étapes de plusieurs exemples de procédé selon l'invention, les paragraphes ci-dessous expliquent comment l'invention utilise des propriétés des résines de lithographie.

[0147] Dans leur utilisation standard il est possible de former des structures binaires dans la résine, c'est-à-dire des structures présentant des flancs verticaux. Comme illustré en figure 2A, ce type de structure 1 présente des flancs 11a formant un angle droit $\alpha 11a$ avec une face 101 du substrat 100 sur lequel repose cette structure 1.

[0148] Il est également possible d'utiliser une autre propriété (propriété d'écoulement) des résines lorsqu'elles sont soumises à un recuit thermique. Ce procédé habituellement dénommé « fluage de résine » ou « resist reflow » en terminologie anglo-saxonne est bien connu de l'homme du métier. Ce procédé de fluage permet de modifier la forme binaire initiale de la structure de résine pour la transformer en une forme aux profils arrondis ou analogiques. Une telle structure est illustrée en figure 2B. Cette structure 1 présente des flancs 11b dont l'inclinaison $\alpha 11b$ est supérieure à 90° . $\alpha 11b$ est l'angle formé entre le plan XY dans lequel est principalement contenue la face 101 du substrat 100 et la tangente au flanc 11b au niveau du contact entre ce flanc 11b et la face 101 sur laquelle repose ce motif 220.

[0149] Toutefois lorsque ces procédés de fluage sont mis en œuvre, ils modifient toute la forme de la structure initiale de résine sans pouvoir y introduire une dissymétrie au niveau de l'inclinaison de ces flancs 11a ou 11b. En effet, toute la structure 1 de résine flue de façon homogène.

- [0150] La présente invention tire profit de ces deux propriétés des résines pour réaliser une structure dans un seul et même matériau mais sur lequel un fluage dissymétrique pourra être appliqué pour créer des profils binaires et analogiques. Ainsi et comme illustré en figure 2C, une telle structure 1 présente au moins un flanc 11a présentant une première inclinaison α_{11a} , par exemple un angle droit, et au moins un flanc 11b présentant une deuxième inclinaison α_{11b} différente de l'inclinaison α_{11a} . Cette structure peut être qualifiée de dissymétrique puisque les flancs situés de part et d'autre d'un plan perpendiculaire à la face 101 du substrat 100 présentent des inclinaisons différentes.
- [0151] De manière particulièrement avantageuse, le procédé selon l'invention permet que ces flancs 11a, 11b présentant des inclinaisons différentes soient situés sur un même niveau. Ainsi, ces flancs 11a, 11b s'étendent au moins en partie entre deux plans P1, P2 distants l'un de l'autre et parallèles au plan XY dans lequel s'étend principalement la face 101 du substrat 100. Les plans P1 et P2 ainsi que le plan XY du repère orthogonal XYZ sont référencés en figure 2C.
- [0152] Pour parvenir à ce résultat, on prévoit d'appliquer les étapes suivantes à une structure présentant au moins une couche 200 de résine positive qui peut :
- être activée lorsqu'elle est exposée à une dose D2, telle que $D_{activation} \leq D2$. Les zones de résine activée peuvent alors être dissoutes lors d'une étape de développement. Les zones qui restent en place après développement des zones activées peuvent fluer lorsque la résine est soumise à des températures T supérieures ou égales à une température de fluage Tfluage,
 - se stabiliser et ainsi ne pas fluer lorsqu'elle est soumise à la température de transition vitreuse Tfluage de cette résine positive. Cette stabilisation est obtenue en exposant la résine à une dose d'insolation $D \geq D_{inversion}$. On considère alors que la résine voit son comportement s'inverser pour présenter un comportement de résine négative.
- [0153] A partir d'une résine présentant les propriétés mentionnées ci-dessus, le procédé proposé prévoit les étapes suivantes qui vont maintenant être brièvement présentées. Ces étapes seront décrites plus en détail par la suite en référence aux figures 3 à 13.
- [0154] Au cours d'une première étape on expose une zone de résine avec une dose $D1 \geq D_{inversion}$ de sorte à former un motif 210 stabilisé, c'est-à-dire un motif qui ne flue pas à la température de transition vitreuse Tfluage. Ce premier motif 210 présente une première inclinaison α_{211} par rapport au plan XY.
- [0155] Au cours d'une autre étape, effectuée avant ou après l'étape mentionnée ci-dessus, on expose une autre zone de la résine avec une dose $D_{activation} \leq D2 < D_{inversion}$. Cette autre zone de la résine présentant un comportement de résine positive, l'exposition avec la dose D2 est suivie d'un développement et laisse en place un autre motif 220.

Cet autre motif 220, formé par développement de la résine positive, est sensible au fluage.

[0156] On obtient alors sur une face 101 du substrat 101 une structure 1 comprenant le motif 210 stabilisé et le motif 220 de résine positive.

[0157] On effectue ensuite une étape de fluage en appliquant à la structure une température $T \geq T_{\text{fluage}}$ pendant une durée contrôlée d , de sorte à faire fluer le motif 220 de résine positive. Cette température T ne permet pas de faire fluer le motif 210 stabilisé dont le comportement est celui d'une résine négative. Ce fluage est poursuivi jusqu'à ce que le motif 220 flue sur une partie du motif 210. La structure 1 comprend alors :

- un flanc 211 dont l'inclinaison α_{211} est définie par le motif 210 stabilisé ;
- un flanc 221 dont l'inclinaison α_{221} est définie par le motif 220 ayant flué.

[0158] On obtient alors bien une structure 1 de résine présentant des inclinaisons α_{211} , α_{221} différentes.

[0159] Des exemples particuliers de réalisation vont maintenant être décrits en détail en référence aux figures 3 à 13.

[0160] Les figures 3A à 3K illustrent un premier exemple de procédé de réalisation.

[0161] La figure 3A illustre un exemple d'empilement à partir duquel le procédé est mis en œuvre. Cet empilement comprend un substrat 100 de support surmonté d'une couche 200 de résine positive.

[0162] La figure 3B illustre une étape d'exposition 401 de la résine 200 à travers un masque 300 comportant des ouvertures 301. Les zones 231 situées au droit de l'ouverture 301 reçoivent une dose d'énergie $D1$ sous forme de photons (lithographie optique) ou d'électrons (lithographie électronique).

[0163] La dose $D1$ appliquée est bien plus élevée que la dose d'utilisation recommandée pour cette résine positive. Cette dose $D1$ est supérieure au seuil de stabilisation $D_{\text{inversion}}$. Ainsi, les zones exposées 231 délimitent des motifs 210 stabilisés et présentant un comportement de résine à tonalité négative.

[0164] Comme illustré en figure 3C, les zones 201 de la couche 200 de résine qui n'ont pas été exposées conservent leur comportement de résine à tonalité positive.

[0165] Comme illustré en figure 3D, on procède ensuite à une seconde lithographie, configurée pour exposer d'autres zones 232 de la couche 200 de résine à travers un masque 310. Ces zones 232 sont au moins en partie différentes des zones 231.

[0166] Cette exposition applique aux zones 302 une dose $D2$ supérieure à la dose $D_{\text{activation}}$ nécessaire à l'activation de la résine, mais inférieure à la dose $D_{\text{inversion}}$ nécessaire pour inverser la tonalité de la résine. Ainsi, $D_{\text{activation}} \leq D2 < D_{\text{inversion}}$.

[0167] Selon un premier mode de réalisation, illustré en figure 3D, cette deuxième exposition 402 est réalisée à travers un masque 310 différent du premier masque 300. Ce masque 310 peut présenter des ouvertures 302 différentes de celles du masque 300,

notamment en termes de dimensions, de localisation ou de nombre.

[0168] Selon un autre mode de réalisation, les masques 300 et 310 sont identiques, et la deuxième exposition 402 est effectuée en décalant le masque par rapport à la position qui lui avait été assignée lors de la première exposition 401.

[0169] On obtient ainsi au sein de la même couche 200 de résine :

- des portions 201 de résine non exposées et donc non activées,
- des portions présentant un comportement de résine négative et délimitant les motifs 210 stabilisés,
- des portions 202 de résine positive activée, situées au droit des zones 232.

[0170] On effectue ensuite une étape de développement de la résine avec une solution permettant de dissoudre les portions 202 de résine positive activée.

[0171] Comme illustré en figure 3E, on obtient ainsi sur un même substrat 100 des structures 1 hybrides, chaque structure 1 comportant au moins un motif 210 dont le comportement est celui d'une résine à tonalité négative et au moins un motif 220 formé par les portions 202 de résine à tonalité positive.

[0172] De manière optionnelle et particulièrement avantageuse, la première exposition 400 et la deuxième exposition 402 sont effectuées en conservant l'empilement 100, 200 dans le même équipement de lithographie. Ainsi, l'empilement 100 n'est pas déchargé hors de l'équipement à la fin de la première exposition 401 et avant d'effectuer la deuxième exposition 400.

[0173] Cela est rendu possible par le fait que l'on n'effectue pas d'étape de développement entre la première exposition 401 et la deuxième exposition 402.

[0174] Cela permet d'auto-aligner les motifs 210 à tonalité négative et les motifs 220 à tonalité positive. Le contrôle dimensionnel de la structure que l'on obtient au final en est significativement amélioré. On évite également les déformations de nappes et les erreurs d'alignement que l'on peut rencontrer lorsque les étapes successives sont alignées en se basant sur des marques générées dans le substrat 100.

[0175] Comme illustré en figure 3F qui reprend la figure 3E, les motifs 210 présentent des flancs 211 s'étendant perpendiculairement à la face 101 du substrat 100 (si la direction du faisceau de photons d'électrons utilisés pour l'exposition et perpendiculaire au plan principal dans lequel s'étend la couche 200 de résine). De même, les motifs 220 présentent des flancs 221 perpendiculaires à cette face 101.

[0176] On procède ensuite à une étape de fluage des structures 1 hybrides. L'empilement est soumis à une température T supérieure à la température de transition vitreuse T_{fluage} de la résine positive déposée initialement comme illustré en figures 3A.

[0177] Les figures 3G à 3J illustrent différentes configurations atteintes par la résine au fur et à mesure que le temps s'écoule lors de cette étape de fluage.

[0178] Comme cela apparaît sur chacune de ces figures, les motifs 210 présente un com-

portement de résine négative ne se déforme pas. Les motifs 220 présentant un comportement de résine positive fluent et se déforment. Leurs flancs 221 s'arrondissent ou s'inclinent en formant avec la face 101 du substrat 100 un angle $\alpha_{221} > 90^\circ$. α_{221} est l'angle formé entre le plan XY et la tangente au flanc 221 au niveau du contact entre le flanc 221 et la face 101 sur laquelle repose ce motif 220. α_{221} évolue au fur et à mesure que la durée du fluage augmente. Typiquement, α_{221} s'éloigne d'une valeur de 90° au cours du temps. Toute la surface du flanc 221 ne présente pas nécessairement la même inclinaison ou la même pente. Certaines parties du flanc 221 peuvent être arrondies.

- [0179] Les flancs 211 des motifs 210 conservent leur inclinaison α_{211} initiale, par exemple une inclinaison égale à 90° .
- [0180] De préférence, on prévoit qu'en fin d'étape de fluage le sommet 212 des motifs 210 soit au même niveau de hauteur que les sommets 222 des motifs 220. De préférence ces sommets sont en contact pour présenter une continuité entre ces motifs.
- [0181] Pour obtenir la forme finale souhaitée, par exemple pour obtenir une continuité de matière entre les sommets 212 et 222, il convient de choisir convenablement les paramètres suivants notamment : la nature de la résine, le temps de fluage, la température de fluage, les volumes et les formes des motifs 220 ainsi que la position relative des motifs 210 et 220.
- [0182] Sur l'exemple illustré en référence aux figures 3A à 3J, avant l'étape de fluage, les motifs 210 et 220 de chaque structure 1 sont adjacents ou au contact l'un de l'autre. Selon un mode de réalisation alternatif, on peut prévoir que ces motifs 210 et 220 ne soient pas en contact avant l'étape de fluage mais le deviennent à l'issue de l'étape de fluage. Pour cela, il convient de régler le volume des motifs 220, la distance entre ces derniers et les motifs 210 avant fluage, ainsi que les paramètres de l'étape de fluage, en particulier la température et le temps de fluage.
- [0183] Sur l'exemple illustré en référence aux figures 3A à 3J, les zones 231 destinées à former les motifs stabilisés 210 sont exposées avant les zones 232 destinée à former les motifs 220 de résine négative. Selon un mode de réalisation alternatif, on peut prévoir une chronologie inverse. Ainsi, on peut d'abord définir les motifs 220 de résine négative en exposant les zones 232 puis on peut former les motifs stabilisés 210 en exposant les zones 231. Ce mode de réalisation reviendrait à inverser les étapes illustrées en figures 3B et 3C avec les étapes illustrées en figure 3D.
- [0184] De manière optionnelle mais particulièrement avantageuse, une fois l'étape de fluage terminée, on procède à une étape de stabilisation de la structure 1. Cette étape de stabilisation permet une meilleure homogénéité de la résine. Cela permet d'obtenir dans tout le volume de la structure 1 des propriétés identiques, par exemple en termes de résistance à la gravure. Cela est particulièrement avantageux pour les étapes ultérieures

du procédé, notamment lors du transfert, par gravure, de la forme de la structure 1 dans une couche fonctionnelle, par exemple dans un matériau tel que l'un des matériaux suivants : Si, SiO₂, SiN, métal, diélectrique. La sélectivité de gravure entre ce matériau à graver et la résine sera homogène contrairement à ce qui se produirait si les portions de résine fluée et stabilisée étaient différentes. En mettant en œuvre le procédé selon l'invention, toutes les portions de la structure 1 seront gravées à la même vitesse et les dimensions de la structure 1 seront alors fidèlement transférées dans la couche fonctionnelle.

- [0185] Cette étape de stabilisation est par exemple obtenue en exposant toute la structure 1 à une dose supérieure à $D_{inversion}$.
- [0186] On notera que d'autres solutions existent pour réaliser cette étape de stabilisation. Par exemple, des résines thermodurcissables peuvent être stabilisées en leur appliquant une température de recuit qui est plus élevée que la température de fluage. Naturellement, il faut alors contrôler la cinématique de fluage par rapport à la cinématique de thermo-réticulation, ce que ferait sans difficulté l'homme du métier.
- [0187] Ainsi, le procédé proposé permet d'obtenir une structure 1 présentant des flancs aux inclinaisons α_{211} , α_{221} différentes, sans présenter de profil en marches d'escalier et sans avoir besoin d'utiliser des lithographies à faisceaux d'électrons. Le procédé proposé peut être appliqué sur une grande surface pour réaliser, lors de chacune des étapes, un grand nombre de motifs. Ce procédé est donc parfaitement compatible avec les exigences de productivité industrielles.
- [0188] Par ailleurs, ces procédés ne nécessitent pas l'utilisation de résines et de lithographies à niveaux de gris.
- [0189] Un autre procédé de réalisation de la présente invention va maintenant être décrit en référence aux figures 4A à 4K.
- [0190] Ce mode de réalisation diffère principalement du mode de réalisation des figures 3A à 3K en ce que la résine est développée après formation des motifs 210 stabilisés et que les motifs 220 sensibles au fluage sont formés dans une couche 250 de résine rapportée sur les motifs 210. Ce mode de réalisation est décrit en détail ci-dessous.
- [0191] Les étapes initiales, illustrées en figure 4A et 4C, correspondent à celles décrites en référence aux figures 3A et 3C.
- [0192] Comme illustré en figure 4D, après exposition des zones 231 pour délimiter les motifs 210 dans la résine 200, on procède à une étape de développement de la résine située dans les zones 201 adjacentes aux zones 231 ayant reçu une dose d'exposition supérieure à la dose d'inversion $D_{inversion}$.
- [0193] Pour réaliser le développement de la résine dans ces zones 201, on peut recourir à plusieurs solutions. Selon une première solution, on effectue une exposition supplémentaire, par exemple pleine plaque et après retrait du masque 300, avec une dose su-

- périeure à Dactivation et strictement inférieure à Dinversion. Une étape classique de développement permettra de retirer les zones 201.
- [0194] Selon une deuxième solution, après l'étape d'exposition des zones 231 avec une dose D supérieure ou égale à Dinversion, on effectue une étape de rinçage avec un solvant pour retirer la résine non exposée qui est située en dehors des motifs 210. Cette étape de rinçage avec un solvant permet de développer la résine positive qui n'a pas été exposée dans les zones 201. Une variante de cette deuxième solution peut consister à effectuer un développement classique puis une étape de rinçage avec un solvant.
- [0195] Le solvant qui peut être utilisé est celui mis en œuvre pour diluer la résine pour faire dépôt par centrifugation. Habituellement ce solvant pour les résines de photolithographie est principalement du 2-methoxy-1-methylethyl acétate.
- [0196] Un développement classique est plus particulièrement avantageux dans un mode de réalisation dans lequel après la stabilisation des premiers motifs on réalise une deuxième exposition de la résine à une dose supérieure à Dactivation mais inférieure à Dinversion.
- [0197] Ainsi, les portions 201 non exposées sont dissoutes. Il ne reste donc sur le substrat 100 que les motifs 210. Dans cet exemple, ces motifs 210 présentent typiquement des flancs 211 verticaux, en particulier si ces motifs 210 sont formés par lithographie à travers un masque 300 classique avec un faisceau optique ou électronique dont la direction privilégiée est perpendiculaire à la face 101 du substrat 100.
- [0198] À l'issue de l'étape 4D, on procède au dépôt d'une couche additionnelle 250 de résine à tonalité positive. De préférence, cette couche additionnelle 250 est identique à la couche 200 à partir de laquelle les motifs 210 ont été formés. Ainsi, les couches 200 et 250 présentent la même composition chimique c'est-à-dire que les mêmes espèces y sont présentes dans de mêmes proportions. De préférence, cette couche additionnelle 250 est déposée sur tout le substrat 100. De préférence, cette couche additionnelle 250 présente une face supérieure 251 plane et parallèle à la face 101 du substrat. Il ne s'agit donc pas d'un dépôt conforme. De préférence cette couche additionnelle 250 recouvre entièrement les motifs 210. Ce dépôt est par exemple effectué à la tournette (technique habituellement désignée par le vocable anglais spin coating).
- [0199] La figure 4E illustre une étape d'exposition 402 de la couche 250 à travers un masque 310 présentant des ouvertures 302. Les zones 232 exposées reçoivent une dose $D_2 \geq D_{activation}$.
- [0200] La figure 4F illustre une étape de développement pour retirer les portions exposées de la résine positive. Pour cette étape de développement, on utilisera une solution classique permettant de dissoudre les portions exposées de la résine positive. Les portions non exposées définissent les motifs 220 formés de résine à tonalité positive.
- [0201] De préférence, ces motifs 220 recouvrent une partie au moins des motifs 210. De

manière avantageuse, ils recouvrent une partie au moins du pourtour des motifs 210 et laissent à découvert une partie au moins de la hauteur de certains flancs 211 des motifs 210.

- [0202] Sur l'exemple illustré, les motifs 220 recouvrent tout le sommet 212 des motifs 210 et laissent entièrement à découvert le flanc 211 de ces motifs 210.
- [0203] L'étape 4G illustre le résultat d'une étape de fluage appliquée à la structure 1. Seul le motif 220 se déforme. Le motif 210 définit ainsi pour la structure 1 un flanc 211 avec une inclinaison α_{211} , par exemple verticale.
- [0204] Le motif 220 définit pour la structure 1 un flanc 221 avec une inclinaison α_{221} différente de α_{211} et non verticale.
- [0205] Ce mode de réalisation présente pour particularité de faire intervenir une étape de développement de la résine après formation des motifs 210 stabilisés et avant formation des motifs 220 en résine positive. Dès lors, la plaque, c'est-à-dire l'empilement comprenant le substrat 100 et les structures 1, doit être retirée de l'équipement de lithographie ayant servi à réaliser les motifs 410. Après développement de la résine (Figure 4D), il est alors nécessaire de recharger la plaque dans l'équipement de lithographie et d'effectuer une étape d'alignement pour que les motifs 410 soient alignés avec les motifs 420 que l'on souhaite créer. Comme la plaque n'a subi aucune étape qui engendre une déformation de sa nappe d'exposition, comme cela serait le cas avec une étape de gravure ou une étape de traitement thermique à haute température, le réalignement de la plaque vis-à-vis des motifs 210 peut se faire avec une très bonne précision.
- [0206] De manière avantageuse, le procédé proposé est également applicable au cas où les masques de lithographie utilisés pour définir les motifs 210 stabilisés présentent des performances relativement limitées. Des masques classiques de lithographie, qui ont pour avantage d'être moins coûteux que des masques complexes de type masques à changement de phase, peuvent conduire à une exposition involontaire des zones adjacentes aux zones que l'on souhaite exposer. En dépit de ces faibles performances des masques, le procédé proposé permet de définir des structures dissymétriques dont les formes sont maîtrisées avec précision.
- [0207] Un exemple de procédé de réalisation procurant cet avantage va être décrit en détail en référence aux figures 5A à 5J.
- [0208] Les étapes initiales, illustrées en figure 5A et 5B, correspondent à celles décrites en référence aux figures 3A et 3B.
- [0209] Lors de l'exposition 401 le flux de photons ou d'électrons expose les zones 231 à travers les ouvertures 301 du masque 300. La dose D1 apportée à ces zones 231 est supérieure à $D_{inversion}$, définissant ainsi des motifs 210 stabilisés.
- [0210] Toujours lors de cette exposition 401, et comme illustré en figure 5C, il se peut que

des zones périphériques 202i à la zone 231 soient également exposées mais à des doses D3 plus faibles ($D3 < D_{\text{inversion}}$). Cette exposition des zones périphériques 202i est le plus souvent involontaire. Comme indiqué ci-dessus, elle résulte des conditions d'exposition et en particulier des propriétés du masque.

- [0211] Toutefois cette dose D3 peut être suffisante pour activer la résine positive en ces zones 202i ($D3 \geq D_{\text{activation}}$). Cette exposition périphérique définit alors des images latentes dans la résine qui pourront être révélées en cas de développement de la résine. Cependant, le développement de la résine n'est pas effectué après la première exposition 401. La couche 200 de résine présente alors des portions non activées 201, des portions activées 202i et des portions stabilisées présentant un comportement de résine positive.
- [0212] Avantagement, la plaque comprenant l'empilement n'est pas déchargée de l'équipement de lithographie et une nouvelle exposition 402 de la résine 200 est effectuée à travers un masque.
- [0213] Cette exposition 402 est effectuée de sorte à apporter une dose D4 à des zones adjacentes à certaines au moins des portions activées 202i ou des zones 232 qui chevauchent ces dernières, de sorte à former des portions élargies 202e.
- [0214] Cette dose D4 est réglée de sorte que le cumul des doses reçues par la résine à tonalité positive soit supérieur à la dose d'activation $D_{\text{activation}}$ est soit inférieure à la dose d'inversion $D_{\text{inversion}}$.
- [0215] Cette nouvelle exposition 402 peut être effectuée à travers le masque 300, en décalant ce dernier par rapport à sa position lors de l'exposition 401. Ce décalage est référencé L1 en figure 5D.
- [0216] Comme illustré en figure 5E, la couche 200 de résine présente alors des portions non activées 201, possiblement des portions activées 202i définies par la première exposition 401 uniquement, des portions activées 202e définies par les première 401 et deuxième 402 expositions et des portions stabilisées présentant un comportement de résine positive.
- [0217] La plaque n'étant pas déchargée entre la première exposition 401 et la deuxième exposition 402, les erreurs et contraintes d'alignement sont réduites voir supprimées.
- [0218] Lors de la deuxième exposition 402, on peut utiliser le même masque 300 que lors de la première exposition 401 en le décalant, comme illustré en figure 5D. L'alignement des différents motifs et donc la précision de la structure finale en est améliorée. Alternativement, on peut utiliser un autre masque.
- [0219] De manière optionnelle, on peut procéder à une nouvelle exposition 403 effectuée sur une zone 233 de manière à accroître encore la taille des portions 202e recevant une dose permettant d'activer la résine positive. Une exposition additionnelle 403 est illustrée en figure 5F. Pour cette exposition 403 également, on utilise de préférence le

masque 300 que l'on décale par rapport à sa position précédente (le décalage L2 est illustré en figure 5F), ceci permettant un auto-alignement des motifs. Alternativement, on peut utiliser un masque différent dont les ouvertures permettent d'exposer les zones 233.

- [0220] En fonction des motifs que l'on souhaite obtenir au final, on peut réaliser d'autres expositions telles que celles illustrées en figure 5F.
- [0221] Ces expositions successive 401, 402, 403 ont pour effet d'élargir sur un des côtés au moins les portions 202e exposées en résine négative. Cela a pour effet de rendre dissymétrique la forme de l'image latente.
- [0222] Une fois que les dimensions déterminées par l'utilisateur des images latentes réalisées dans la résine de tonalité positive sont atteintes, la plaque est déchargée de l'équipement de lithographie et la résine est développée. Le résultat de cette étape de développement est illustré en figure 5G.
- [0223] Les portions 202i et 202e qui ont reçu, en cumulé, une dose supérieure à la dose d'activation Dactivation (et naturellement inférieure à la dose Dinversion), sont dissoutes lors de l'étape de développement. Ces portions 202i et 202e laissent en place des creux référencés v202i et v202e sur la figure 5G.
- [0224] Il subsiste alors sur le substrat 100 des motifs 210 stabilisés et présentant un comportement de résine négative et des motifs 220 présentant un comportement de résine positive. Ces motifs 210, 220 ne sont pas jointifs. Ils sont séparés au moins par une distance L202i correspondant à la dimension des zones périphériques 202i, cette dimension L202i étant prise parallèlement au plan XY.
- [0225] On procède ensuite à une étape de fluage.
- [0226] Les figures 5H à 5J illustrent différentes configurations atteintes par la résine au fur et à mesure du temps lors de cette étape de fluage. On peut souhaiter que le fluage des motifs 220 soit suffisamment important pour qu'il se déforme jusqu'à venir au contact d'au moins un motif 210 stabilisé. À cet effet, on choisira convenablement les paramètres suivants notamment : la nature de la résine, le temps et la température de fluage, les volumes et les formes des motifs 220 ainsi que la position relative des motifs 210 et 220.
- [0227] En fonction de ces paramètres, on peut par exemple prévoir que le sommet de 212 du motif 220 vienne affleurer, ou au contact, du sommet 212 du motif 210. On peut ainsi avoir un profil continu et analogique entre le sommet 212 du motif 210 et le flanc 221 du motif 220.
- [0228] Comme pour les exemples précédents, la structure 1 ainsi obtenue comporte des flancs 211 présentant une inclinaison α_{211} , par exemple verticale, et des flancs 221 présentant une inclinaison α_{221} différente de α_{211} .
- [0229] Comme ces motifs 210,220 sont formés d'une résine identique, cette dernière pourra

aisément mouiller la surface du motif 210 en résine négative et ainsi former une structure unique et homogène pour la suite des procédés.

- [0230] Comme pour les exemples précédents, on peut prévoir une étape optionnelle et additionnelle de stabilisation de l'ensemble de la structure 1 en l'exposant à une dose supérieure à $D_{inversion}$. Cette étape permet d'amener les portions définies par les motifs 220 dans le même état que celles définies par les motifs 210, rendant la structure 1 parfaitement homogène.
- [0231] Dans les exemples précédents, les différents motifs et structures, illustrés en coupe (selon le plan ZX), peuvent s'étendre principalement selon une unique direction et on les qualifiera dès lors de motifs en une dimension. Alternativement, dans tous ces exemples les différents motifs et structures peuvent s'étendre selon deux directions et on les qualifiera alors de motifs en deux dimensions. Dans les exemples qui suivent un motif en 2D est exposé avec une dose supérieure à $D_{inversion}$ pour le rendre insensible au fluage tandis qu'une autre partie du motif en 2D conserve une sensibilité au fluage.
- [0232] Les figures 6A à 6D illustrent un premier exemple de structure en deux dimensions que l'on peut obtenir en mettant en œuvre la présente invention.
- [0233] Les figures 6A et 6B illustrent, respectivement en vue du dessus et en coupe selon le plan ZX, une structure que l'on peut obtenir, avant fluage, en mettant en œuvre un mode de réalisation de l'invention.
- [0234] Cette structure est par exemple obtenue à partir d'un bloc carré de résine positive. Une partie de ce bloc est exposée avec une dose $D \geq D_{inversion}$ pour définir le motif 210 stabilisé. Le reste de la résine conserve un comportement de résine positive et forme le motif 220.
- [0235] Les figures 6C et 6D illustrent, respectivement en vue du dessus et en coupe, la structure après fluage. Le contour du motif 220 se déforme et s'arrondit sous l'effet du fluage. Ce contour présente un flanc 221 incliné. On peut par exemple prévoir que le sommet 212 du motif 210 définisse un profil continu avec le sommet 222 et le flanc 221 du motif 220.
- [0236] Les figures 7A à 7D illustrent un deuxième exemple de structure en deux dimensions que l'on peut obtenir en mettant en œuvre la présente invention.
- [0237] Les figures 7A et 7B sont respectivement une illustration schématique en vue du dessus et une photo en perspective d'une structure que l'on peut obtenir, avant fluage. Cette structure comprend :
- un motif 210 formant une ligne ou une nervure. Ce motif 210 a reçu une dose $D \geq D_{inversion}$ pour la rendre insensible au fluage.
 - un motif 220 formant un plot, par exemple de section circulaire. Ce motif 220 présente un comportement de résine positive et reste sensible au fluage.
- [0238] Les figures 7C et 7D illustrent le résultat obtenu par fluage de la structure illustrée en

figures 7A et 7B. Par effet de mouillage, on voit que les plots en résine positive ont tendance à s'étaler sur la nervure, qui elle ne se déforme pas.

- [0239] Le procédé selon l'invention permet de réaliser bien d'autres formes de structures.
- [0240] Exemple de réalisation
- [0241] Un exemple concret de réalisation va maintenant être présenté.
- [0242] Dans le cadre de cet exemple, on utilise une résine positive de lithographie optique de type M78Y fournie par la société FujiFilm^(T). Dans son utilisation classique, la longueur d'onde d'exposition pour activer cette résine est de 248 nm (10^{-9} m). Les épaisseurs de la résine sont comprises entre 500 nm (10^{-9} m) et 1 μ m (10^{-6} m).
- [0243] La dose d'exposition nécessaire à l'activation de la résine dans son régime de tonalité positive est voisine de 20 mJ/cm² pour la lithographie optique. Ainsi $D_{activation} = 20$ mJ/cm². La dose d'exposition nécessaire pour atteindre le régime de tonalité négative et rendre cette résine insensible ou peu sensible au fluage est voisine de 120 mJ/cm². Ainsi $D_{inversion} = 120$ mJ/cm². Ces valeurs de doses exposition étant données pour une longueur d'onde d'exposition de 248 nm.
- [0244] Cette résine présente également un régime de résine négative quand elle est exposée avec des électrons à 50kV pour des doses supérieures à 75 μ C/cm².
- [0245] La température de fluage conseillée est comprise entre 160°C et 200°C pour des temps de quelques minutes à 30 minutes.
- [0246] La figure 8 est une courbe illustrant comment ajuster les angles de contact de la résine avec la surface de contact de la résine en fonction de la température de fluage pour une durée de fluage donnée (15 minutes) avec une sous-couche ou substrat en silicium. Dans cet exemple, il s'agit de la résine M78Y mentionnée ci-dessus.
- [0247] La figure 9 est une photo en perspective illustrant un exemple de réseau de structures en ligne que l'on peut obtenir avec le procédé selon l'invention.
- [0248] Chaque structure de ce réseau présente un motif 210, s'étendant longitudinalement, stabilisé et insensible au fluage et un motif 220, accolé aux motifs 210 et s'étendant également longitudinalement, qui est sensible au fluage. Ce réseau est obtenu avec la résine M78Y.
- [0249] Les figures 10A et 10B sont des photos en coupe, avec des grossissements décroissants, de l'une des structures du réseau visible en figure 9.
- [0250] Sur ces photos en coupe, on remarque clairement que l'on n'observe aucune discontinuité entre le motif 210 stabilisé avant fluage et le motif 220 sensible au fluage. Ainsi, la structure présente une parfaite homogénéité de matière. Comme indiqué ci-dessus, cela est particulièrement avantageux pour les étapes ultérieures du procédé, en particulier lors des étapes de gravure qui permettront de reproduire de manière parfaitement fidèle la structure dans une couche fonctionnelle.
- [0251] Dans cet exemple, lors de l'étape de fluage, la structure a été portée à une tem-

pérature de 175° pendant une durée de 15 minutes.

- [0252] Dans l'exemple illustré sur la photo de la figure 11A les motifs 210 stabilisés forment des lignes et sont réalisés dans un premier temps. Ces lignes sont donc insensibles au fluage à la température T_{fluage} de la résine.
- [0253] Les motifs 220 sont ensuite réalisés et forment des plots de résine positive. Ces plots sont positionnés à des distances variables des lignes.
- [0254] La figure 11B est une photo montrant la structure à l'issue de l'étape de fluage. On remarque qu'il est possible de réaliser des structures avec des flancs de pentes différentes lorsque les motifs 220 qui fluent sont adossés à la ligne de résine stabilisée. Pour les autres motifs 220 on remarque que la forme fluée est symétrique autour d'un axe de révolution du plot. Ainsi, avec de mêmes motifs 210, 220 et avec une même étape de fluage, on obtiendra des pentes d'inclinaison différente en fonction de la proximité entre les motifs 210 et 220.
- [0255] Dans cet exemple, le fluage est réalisé à une température de 175°C pendant 15 minutes.
- [0256] Dans les exemples non limitatifs présentés ci-dessus, les motifs 210 stabilisés présentent des flancs verticaux (inclinaison α_{211} formant un angle droit avec la face 101 du substrat 100).
- [0257] L'invention n'est cependant pas limitée à des structures présentant cette inclinaison pour les flancs des motifs 210 stabilisés.
- [0258] L'invention permet en effet d'obtenir une structure présentant des flancs dissymétriques, c'est-à-dire des flancs aux inclinaisons différentes, sans pour autant que ces flancs soient verticaux.
- [0259] La figure 12 illustre de manière schématique une telle structure 1, présentant un sommet 12, des flancs 11a présentant une première inclinaison et des flancs 11b présentant une deuxième inclinaison différente de la première inclinaison.
- [0260] Les figures 13A à 13G illustrent de manière schématique des étapes d'un mode de réalisation permettant d'obtenir une structure aux flancs inclinés non verticaux tels que celle illustrée en figure 12.
- [0261] Comme illustré en figure 13A, une première étape consiste à exposer 401 la couche 200 de résine positive à travers un masque 300. Les ouvertures 301 du masque 300 permettent d'exposer des zones 230 en leur appliquant une dose dénommée dose préalable D_p . D_p est telle $D_{\text{activation}} \leq D_p \leq D_{\text{inversion}}$. La résine positive est ensuite développée (étape non illustrée), i.e., les zones 230 exposées sont dissoutes. Les portions de résine positive non exposée restent en place. Ces portions forment les motifs préalables 201. Ces motifs préalables 201 peuvent être des motifs binaires, en fonction de l'homogénéité de l'épaisseur de la couche 200 initiale et des ouvertures du masque.

- [0262] On effectue ensuite une étape de fluage. Les motifs préalables 201, sensibles au fluage, se déforment et voient leurs flancs 203, 204 s'arrondir ou s'incliner. Si ces motifs préalables 201 ne rencontrent pas d'autres motifs, en particulier des motifs stabilisés, leurs flancs 203, 204 présentent des inclinaisons identiques. Le résultat de l'étape de fluage est illustré en figure 13B.
- [0263] La figure 13C illustre une étape suivante d'exposition des motifs préalables 201. La dose D1 appliquée à ces motifs est supérieure à $D_{inversion}$. Ainsi, ces motifs préalables 201 se stabilisent et deviennent insensibles au fluage. Ces motifs stabilisés et leur flancs sont respectivement référencés 210 et 211. De préférence, cette exposition est réalisée pleine plaque.
- [0264] La figure 13D illustre le dépôt d'une couche additionnelle 205 de résine. Avantageusement, cette couche 205 de résine est identique, cette dire qu'elle présente la même composition chimique que la couche 200. Il s'agit donc de résine présentant une tonalité positive une fois déposée sur le substrat 100. De préférence, cette couche 205 recouvre entièrement les motifs 210 stabilisés. De préférence également, cette couche 205 n'est pas conforme et présente une face supérieure plane et parallèle à la face 101 du substrat 100.
- [0265] Comme illustré en figure 13E, on procède ensuite à une étape de lithographie pour définir dans la couche 205 des motifs 220 formés de résine positive.
- [0266] Pour cela, on peut se servir d'un masque 310 différent du masque 300 utilisé au préalable. On peut également se servir du même masque 300 auxquels on appliquera un décalage par rapport à la position de la première lithographie.
- [0267] Lors de cette étape de lithographie, l'exposition 403 apporte une dose à des zones 232 de la couche 205. Cette dose D2 est supérieure ou égale à $D_{activation}$ et est inférieur à $D_{inversion}$.
- [0268] Lors de cette étape d'exposition 403, il se peut que les motifs 210 stabilisés reçoivent tout ou partie de la dose D2. Cela ne va pas les affecter.
- [0269] Ainsi, après une étape de développement (non illustrée) les portions de la couche 205 située dans les zones 232 sont dissoutes. De préférence, le motif 220 formé par la résine positive reste en place et recouvre au moins un flanc du motif 210 stabilisé. Ce motif 220 recouvre également au moins une partie du sommet 212 du motif 210 stabilisé.
- [0270] L'étape illustrée en figure 13F illustre une étape de fluage permettant au motif 220 sensible au fluage de se déformer. Ce motif 220 recouvre au moins une partie de certains flancs 211 du motif 210 en formant une inclinaison α_{221} . Le motif 210 conserve un flanc 211 en partie au moins dégagé et présentant une inclinaison α_{211} différente de l'inclinaison α_{221} .
- [0271] Comme décrit dans les modes de réalisation précédents, de manière optionnelle, on

effectue une étape de stabilisation consistant à apporter à l'ensemble de la structure 1 une dose supérieure ou égale à $D_{inversion}$. Cette étape est illustrée en figure 13G. Elle permet de rendre insensible au fluage les motifs 220 ayant précédemment flués. Cette étape permet également de conférer une parfaite homogénéité à la structure 1, ceci afin notamment de faciliter les étapes ultérieures de transfert de la structure 1 dans un autre substrat.

[0272] L'invention n'est pas limitée aux modes de réalisations précédemment décrits et s'étend à tous les modes de réalisation couverts par les revendications.

[0273] Par exemple, les exemples illustrés, à l'exception du mode de réalisation illustré en figure 5, décrivent que seules les zones de résine situées au droit des ouvertures des masques sont exposées et reçoivent une dose. Naturellement, ces modes de réalisation sont parfaitement compatibles avec des masques qui conduisent, souvent de manière volontaire, à ce qu'une zone périphérique à celle située directement au droit d'une ouverture reçoive une certaine dose. Si cette dose appliquée en zone périphérique est

- inférieure à la dose $D_{activation}$, alors les procédés décrits et en particulier ceux illustrés en figures 3, 4 et 13 s'appliquent directement.
- supérieure à $D_{activation}$, alors le procédé décrit à la figure 5 peut s'appliquer.

[0274] Dans les modes de réalisation décrits ci-dessus, les premiers motifs exposés à une première dose $D1 \geq D_{inversion}$ ainsi que les deuxièmes motifs exposés à une deuxième dose $D2 < D_{inversion}$ s'étendent depuis une même face du substrat ou depuis une même couche. De préférence, ces premiers et deuxièmes motifs sont au contact du substrat ou de cette couche.

[0275] Selon un mode de réalisation alternatif, on peut prévoir que les deuxièmes motifs ne s'étendent pas depuis le substrat. Ces deuxièmes motifs peuvent être partiellement ou entièrement supportés par les premiers motifs en laissant à nu une partie des flancs des premiers motifs. Ainsi, on définit un empilement présentant des premiers motifs surmontés des deuxièmes motifs. Les premiers motifs présentent des premiers flancs présentant une inclinaison α_{211} par rapport audit plan (XY). Les deuxièmes motifs, situés sur les premiers motifs, vont fluier davantage que les premiers motifs. Ces deuxièmes motifs présentent, après fluage, des deuxièmes flancs dont l'inclinaison α_{221} par rapport audit plan (XY) est différente de α_{211} .

Revendications

[Revendication 1]

Procédé de réalisation d'au moins une structure (1) comprenant des flancs (211, 221) présentant des inclinaisons α_{211} , α_{221} différentes par rapport à un plan (XY) dans lequel s'étend principalement une face (101) d'un substrat (100) sur laquelle repose la structure (1), le procédé comprenant les étapes suivantes:

- Fournir un empilement comprenant un substrat (100) surmonté d'au moins une couche (200) de résine photosensible ou électrosensible, la résine étant telle que:
 - lorsque la résine est exposée à une dose d'insolation $D < D_{inversion}$, elle présente un comportement de résine positive et flue lorsqu'elle est soumise à une température T supérieure ou égale à une température de transition vitreuse T_{fluage} , et
 - lorsque la résine est exposée à une dose d'insolation $D \geq D_{inversion}$, elle présente un comportement de résine négative et ne flue pas à une température $T \geq T_{fluage}$,
- Former au moins un premier motif (210) par exposition d'au moins une première zone (231) de ladite résine avec une première dose $D_1 \geq D_{inversion}$, la première zone (231) définissant pour la structure (1) le premier motif (210), le premier motif (210) présentant un pourtour comprenant au moins un premier flanc (211), le premier flanc (211) présentant une première inclinaison α_{211} par rapport audit plan (XY),
- Avant ou après formation du premier motif (210), former au moins un deuxième motif (220) notamment par exposition d'au moins une deuxième zone (232) de ladite résine, la deuxième zone (232) étant au moins en partie différente de la première zone (231), avec une deuxième dose $D_2 < D_{inversion}$, puis développer la deuxième zone (232) de sorte à laisser en place, en dehors de la deuxième zone (232), de la résine définissant l'au moins un deuxième motif (220),
- Effectuer une étape de fluage en appliquant à l'empilement une température $T \geq T_{fluage}$ pendant une durée contrôlée d , de sorte à faire fluer le deuxième motif (220) sans faire fluer le

premier motif (210), jusqu'à ce que le deuxième motif (220) flue sur au moins une partie du premier motif (210) en :

- laissant à découvert au moins partiellement le premier flanc (211) du premier motif (210) présentant ladite première inclinaison α_{211} ,
- définissant au moins un deuxième flanc (221) pour la structure (1), le deuxième flanc (221) présentant par rapport audit plan (XY) une deuxième inclinaison α_{221} différente de la première inclinaison α_{211} .

- [Revendication 2] Procédé selon la revendication précédente, dans lequel l'étape de formation du deuxième motif (220) est effectuée après l'étape de formation du premier motif (210).
- [Revendication 3] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel, l'étape de formation de l'au moins un premier motif (210) et l'étape de formation de l'au moins un deuxième motif (220) sont effectuées dans un même équipement de lithographie et sans retirer l'empilement dudit équipement entre ces deux étapes.
- [Revendication 4] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape de formation du premier motif (210) et l'étape de formation du deuxième motif (220) sont effectuées de sorte qu'avant l'étape de fluage le deuxième motif (220) est au contact du premier motif.
- [Revendication 5] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1, 2 ou 4, comprenant, après l'étape de formation du premier motif (210) et avant l'étape de formation du deuxième motif (220), une étape de dépôt d'une couche additionnelle (250, 205) faite de ladite résine, la deuxième zone (232) exposée pour former le deuxième motif (220) étant prise dans la couche additionnelle (250, 205) et le deuxième motif (220) étant formé dans la couche additionnelle (250, 205).
- [Revendication 6] Procédé selon la revendication précédente, dans lequel, avant l'étape de fluage le deuxième motif (220) recouvre un sommet (212) du premier motif (210) et une partie au moins de, et de préférence toute, la hauteur d'une portion du pourtour du premier motif (210), la hauteur étant prise selon une direction normale (Z) à un plan dans lequel s'étend principalement la face (101) du substrat (100) sur laquelle repose la couche (200) de ladite résine.

- [Revendication 7] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel l'étape de formation du premier motif (210) et l'étape de formation du deuxième motif (220) sont effectuées de sorte qu'avant l'étape de fluage du deuxième motif (220), le deuxième motif (220) soit au contact d'une partie au moins du pourtour du premier motif (210) sans recouvrir un sommet (212) du premier motif (210).
- [Revendication 8] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel lors de l'étape de formation du premier motif (210), l'exposition de l'au moins une première zone (231) avec la dose D_1 expose simultanément, en périphérie de la première zone (231), une portion de la deuxième zone (232) avec une dose supérieure ou égale à $D_{activation}$ et inférieure à $D_{inversion}$, de sorte qu'avant l'étape de fluage le deuxième motif (220) est à distance du premier motif (210).
- [Revendication 9] Procédé selon la revendication précédente, dans lequel les dimensions du deuxième motif (220) et les conditions de fluage, en particulier la durée d et la température T , sont réglées de sorte qu'à la fin de l'étape de fluage le deuxième motif (220) soit au contact du premier motif (210).
- [Revendication 10] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'inclinaison α_{211} dudit premier flanc (211) du premier motif forme un angle droit avec ledit plan (XY) dans lequel s'étend ladite face (101) du substrat (100).
- [Revendication 11] Procédé selon l'une quelconque des revendications 1, 2 et 4 à 6, dans lequel, avant la formation de l'au moins un premier motif (210), le procédé comprend :
- une étape de formation d'au moins un motif préalable (201) en exposant au moins une zone préalable (230) de la résine avec une dose $D_p \leq D_{inversion}$ puis en développant l'au moins une zone préalable (230) de sorte à laisser en place l'au moins un motif préalable (201),
 - une étape de fluage de l'au moins un motif préalable (201) de sorte à ce que le motif préalable (201) comprenne au moins un flanc (203, 204) présentant ladite première inclinaison α_{211} et destiné à former ledit premier flanc (211),
l'exposition d'au moins une première zone (231) de la résine avec une première dose $D_1 \geq D_{inversion}$ est appliquée notamment au motif préalable (201), de sorte à définir ledit

premier motif (210) dont le premier flanc (211) présente ladite première inclinaison α_{211} ,

et, de préférence dans lequel l'inclinaison α_{211} dudit premier flanc (211) du premier motif (210) forme un angle avec ledit plan (XY), avec $90^\circ < \alpha_{211} < 180^\circ$ et de préférence avec $95^\circ \leq \alpha_{211} \leq 175^\circ$.

[Revendication 12] Procédé selon la revendication précédente, dans lequel le procédé comprend, après l'étape de formation du premier motif (210) et avant l'étape de formation du deuxième motif (220), une étape de dépôt d'une couche additionnelle (205) de ladite résine, la deuxième zone (232) exposée pour définir le deuxième motif (220) étant prise dans la couche additionnelle (205) et le deuxième motif (220) étant formé dans la couche additionnelle (205).

[Revendication 13] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel l'étape de formation du premier motif (210), l'étape de formation du deuxième motif (220) et l'étape de fluage sont effectuées de sorte qu'à la fin de l'étape de fluage un sommet (212) du premier motif (210) soit au contact d'un sommet (222) du deuxième motif (220).

[Revendication 14] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le procédé comprend, après l'étape de fluage, une étape d'exposition au moins du deuxième motif (220) avec une dose d'insolation $D_f \geq D_{inversion}$.

[Revendication 15] Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le premier motif (210) et le deuxième motif (220) reposent sur une même couche en étant contact de cette couche.

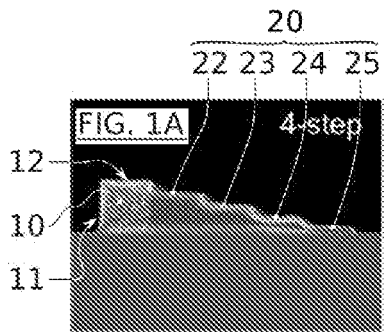
[Revendication 16] Structure (1) faite d'une résine photosensible ou électrosensible et présentant :

- au moins un premier flanc (211) présentant une première inclinaison α_{211} par rapport à un plan (XY) dans lequel s'étend principalement une face (101) d'un substrat (100) sur laquelle repose la structure (1) et
- au moins un deuxième flanc (221) présentant une deuxième inclinaison α_{221} différente de la première inclinaison α_{211} , caractérisée en ce que le premier flanc (211) est constitué par une portion de ladite résine présentant un comportement de résine négative et le deuxième flanc (221) est constitué par une portion de ladite résine présentant un comportement de résine

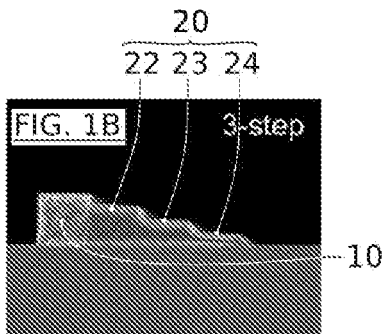
positive, les portions de ladite résine constituant le premier flanc (211) et le deuxième flanc (221) présentant la même composition chimique.

[Revendication 17] Structure (1) selon la revendication précédente, dans laquelle les portions de résine constituant le premier flanc (211) et le deuxième flanc (221) sont en contact.

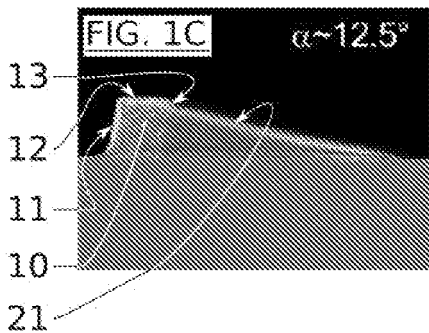
[Fig. 1A]



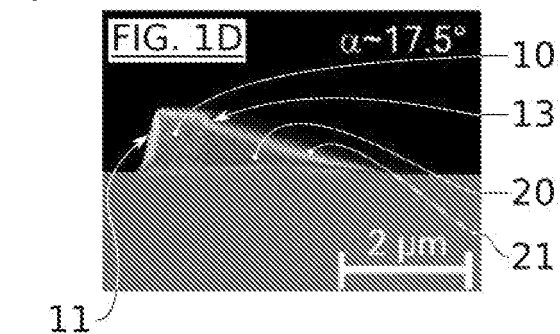
[Fig. 1B]



[Fig. 1C]



[Fig. 1D]



[Fig. 2A]

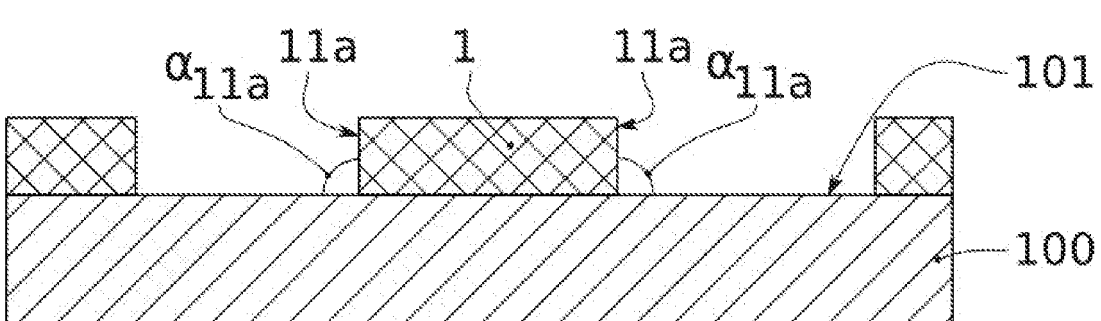


FIG. 2A

[Fig. 2B]

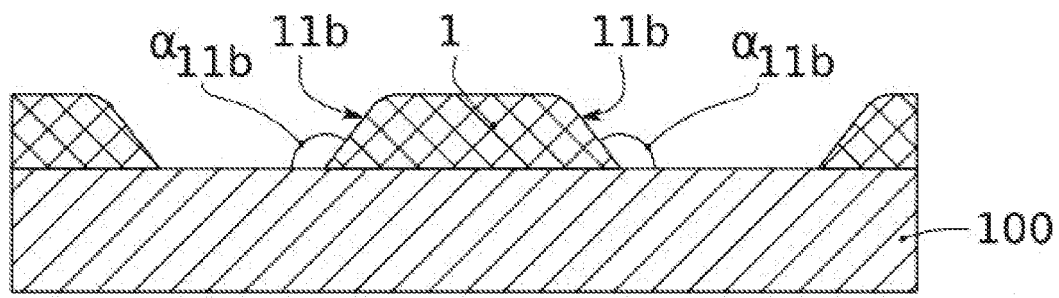


FIG. 2B

[Fig. 2C]

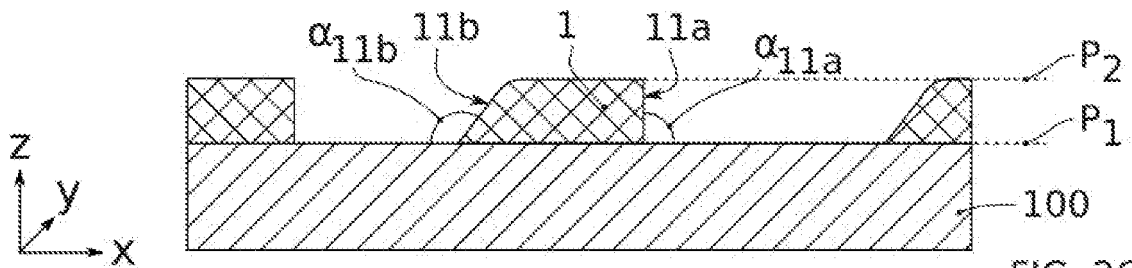


FIG. 2C

[Fig. 3A]

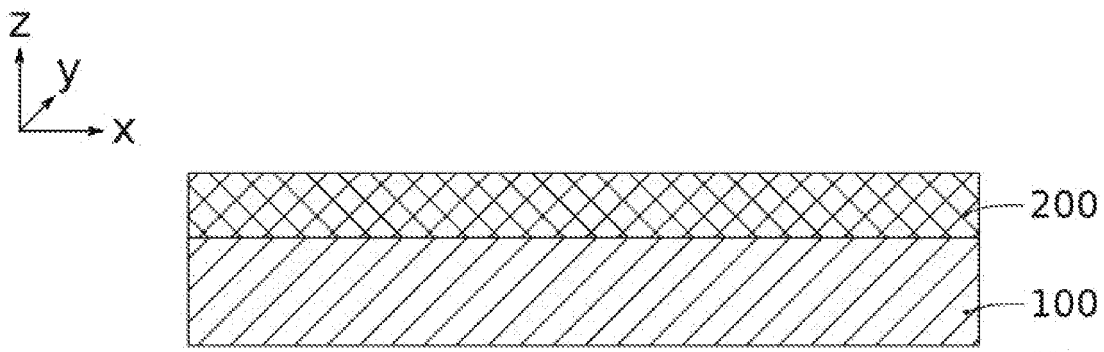


FIG. 3A

[Fig. 3B]

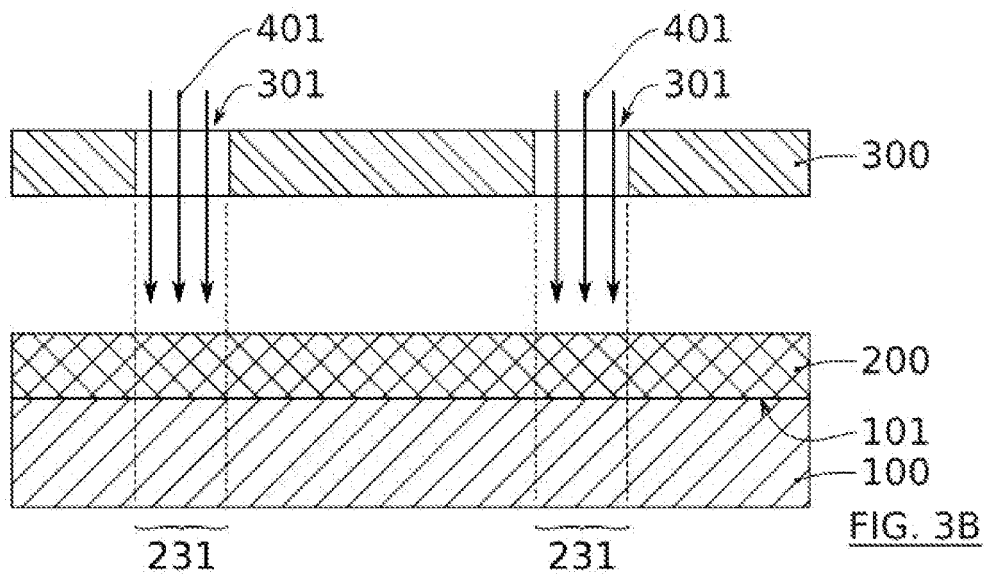


FIG. 3B

[Fig. 3F]

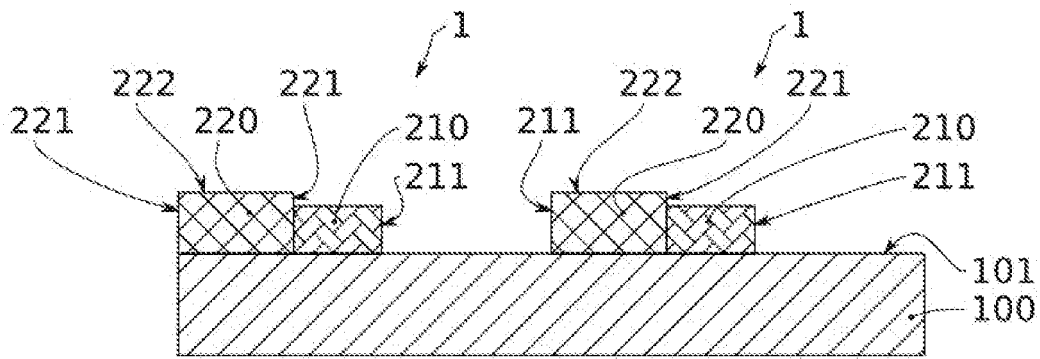


FIG. 3F

[Fig. 3G]

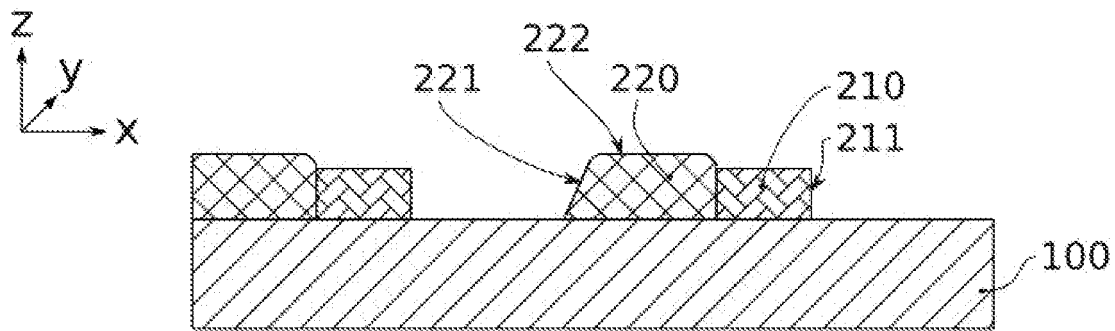


FIG. 3G

[Fig. 3H]

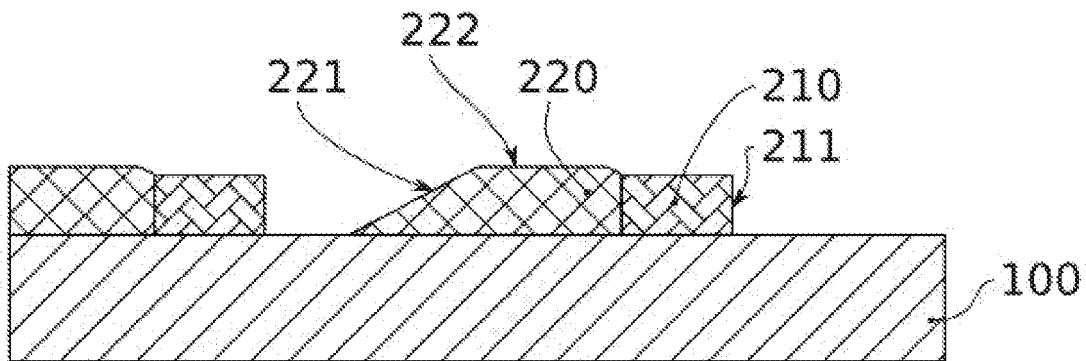


FIG. 3H

[Fig. 3I]

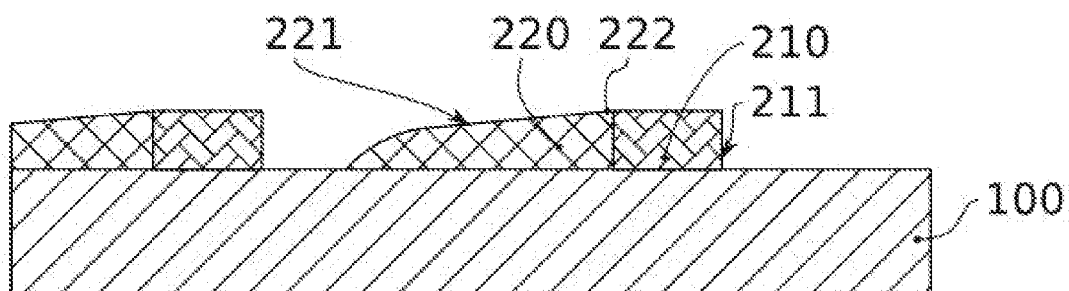
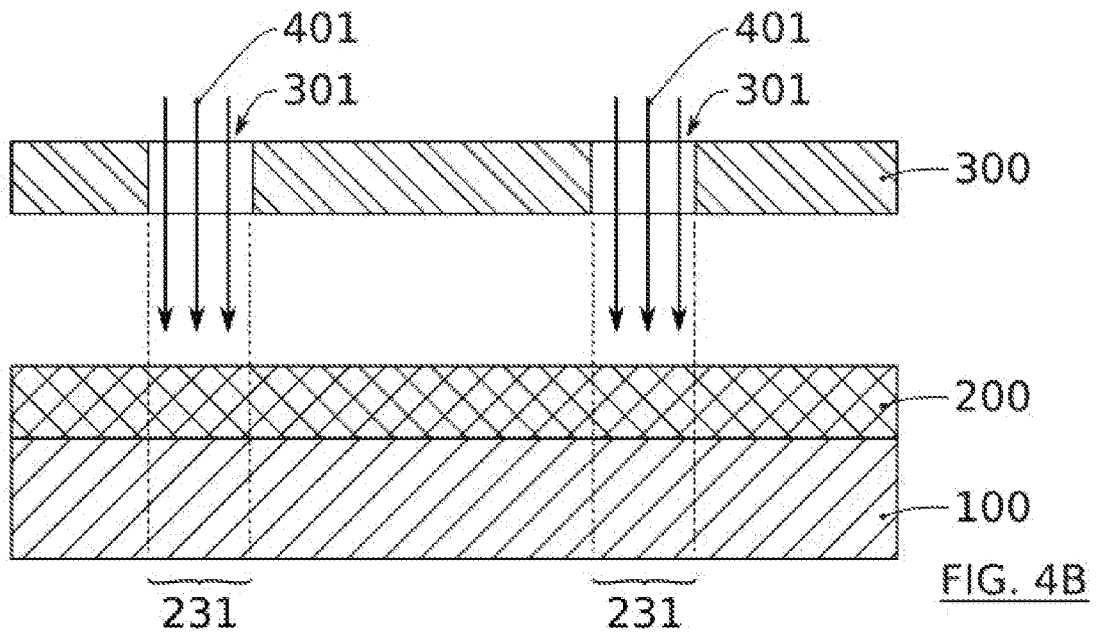
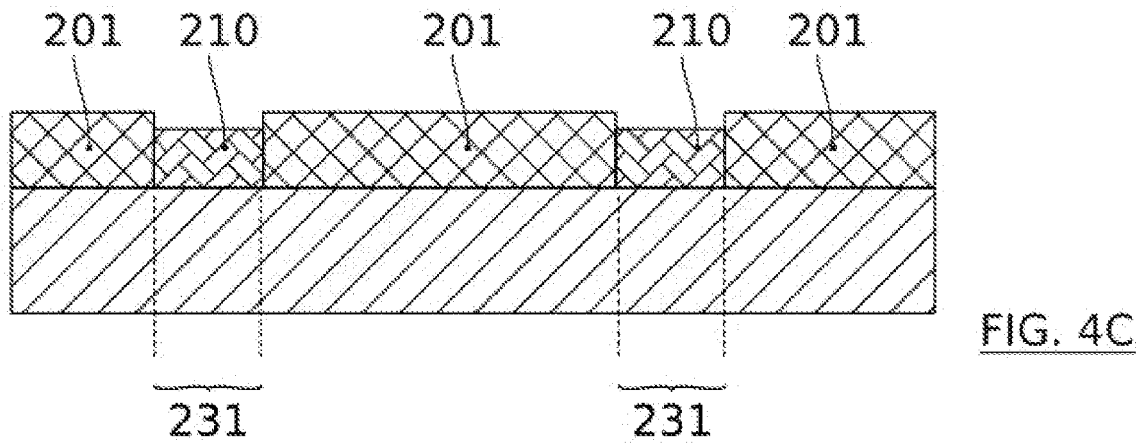


FIG. 3I

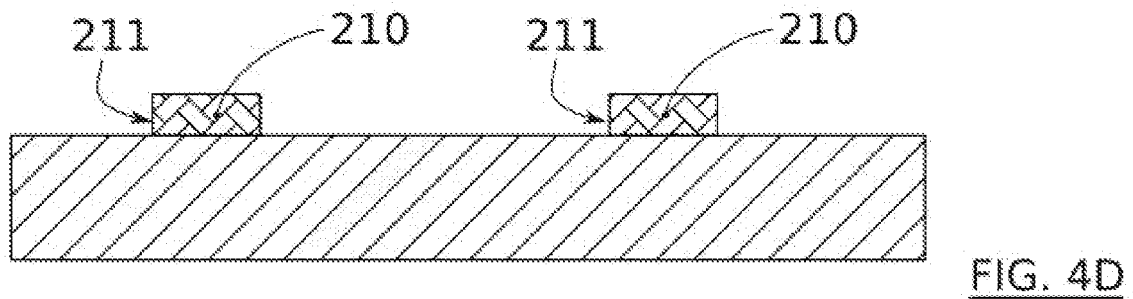
[Fig. 4B]



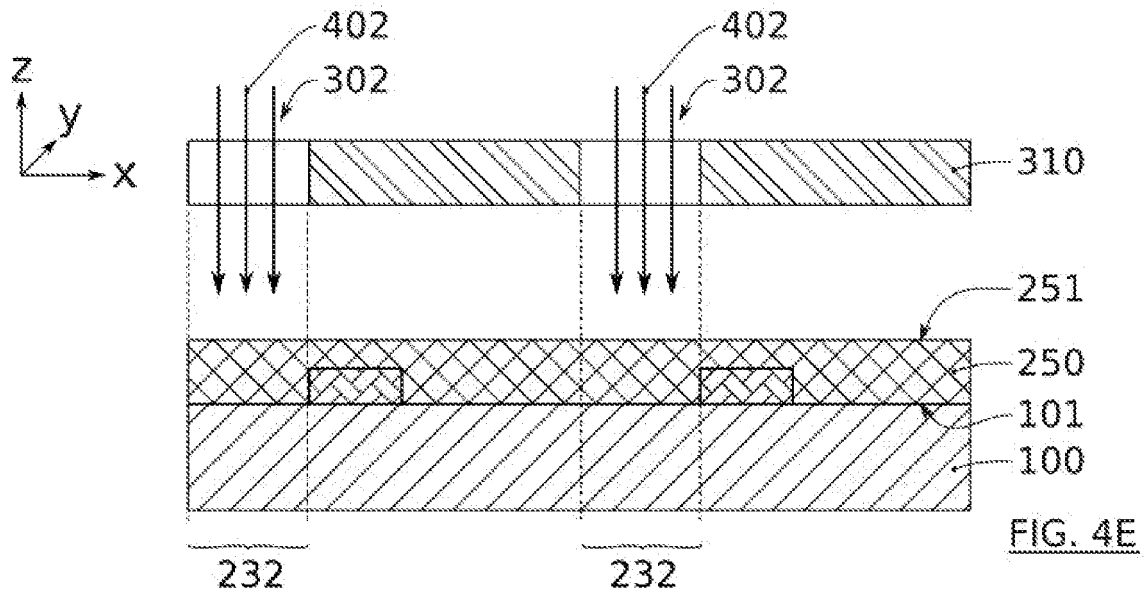
[Fig. 4C]



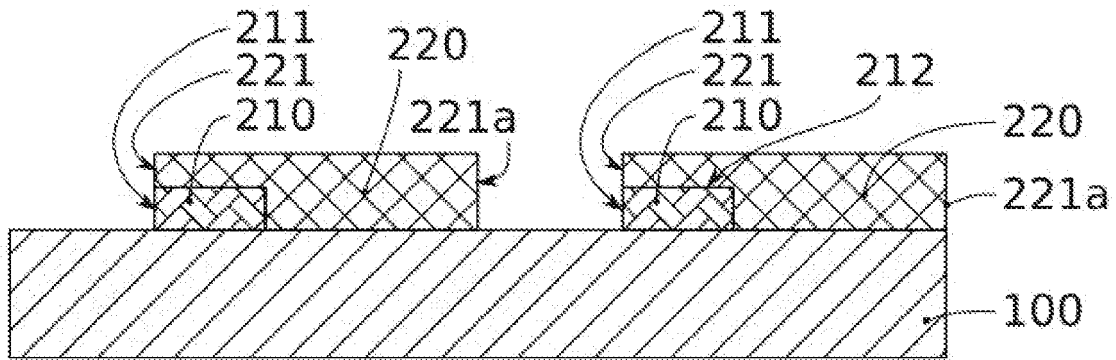
[Fig. 4D]



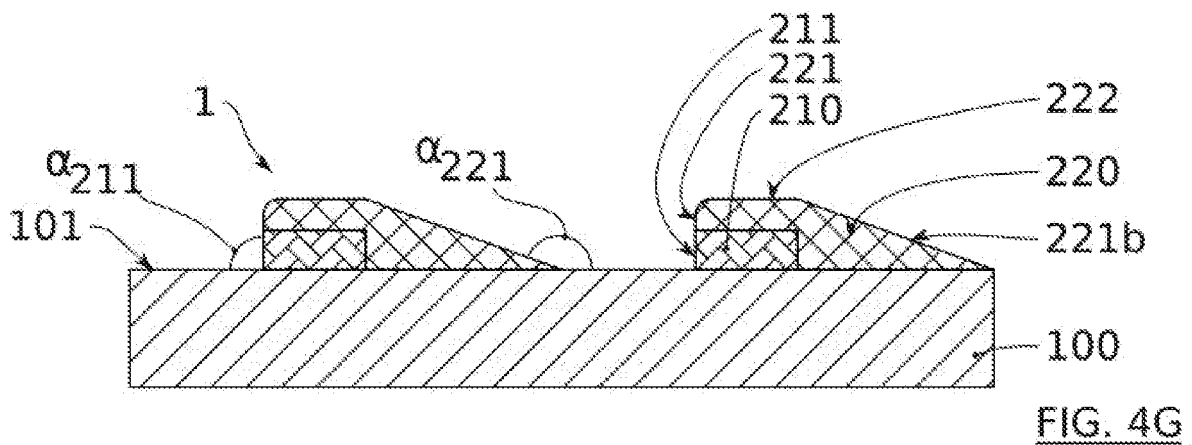
[Fig. 4E]



[Fig. 4F]



[Fig. 4G]



[Fig. 5A]

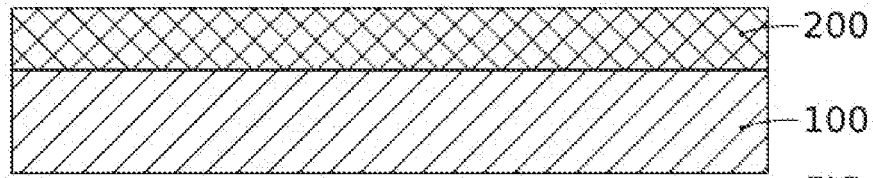


FIG. 5A

[Fig. 5B]

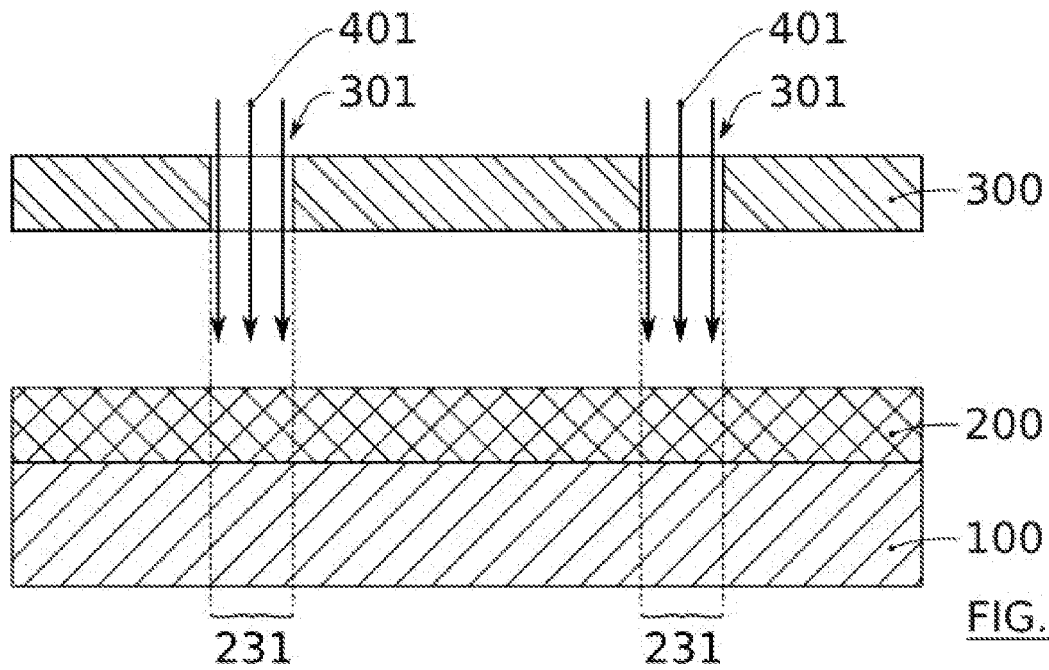


FIG. 5B

[Fig. 5C]

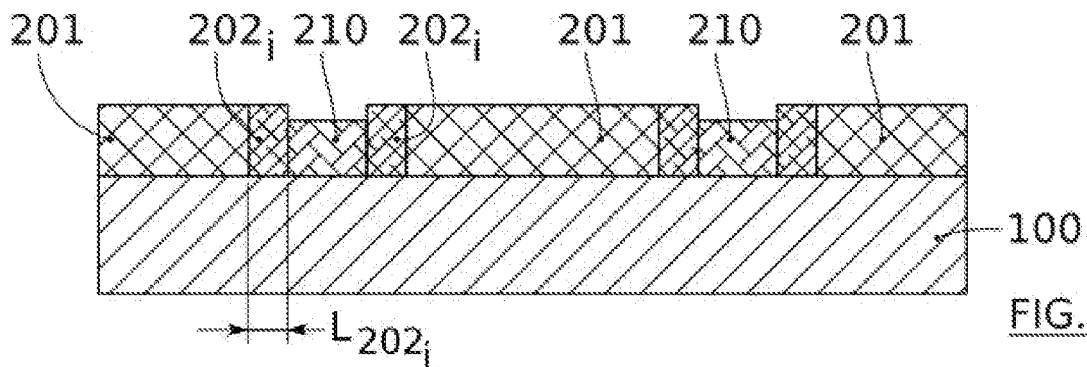


FIG. 5C

[Fig. 5D]

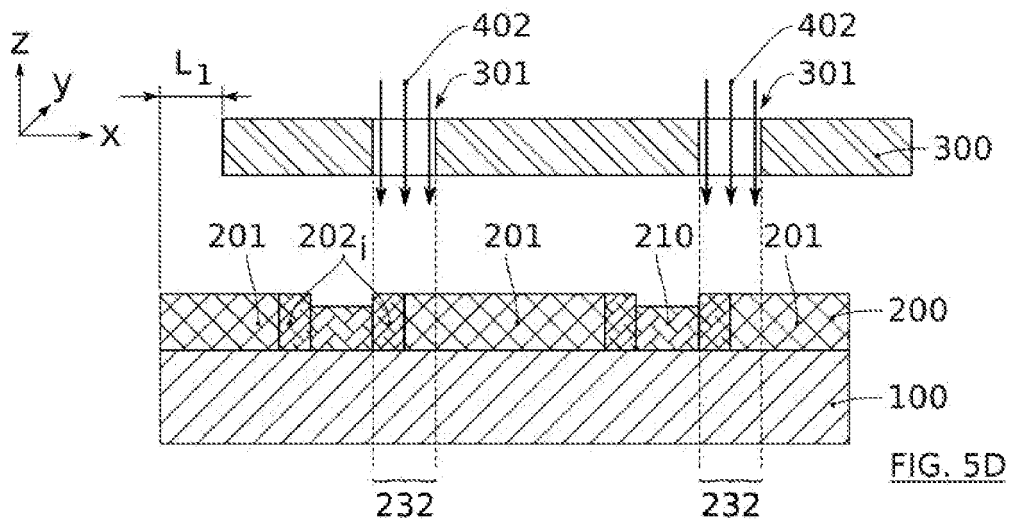


FIG. 5D

[Fig. 5E]

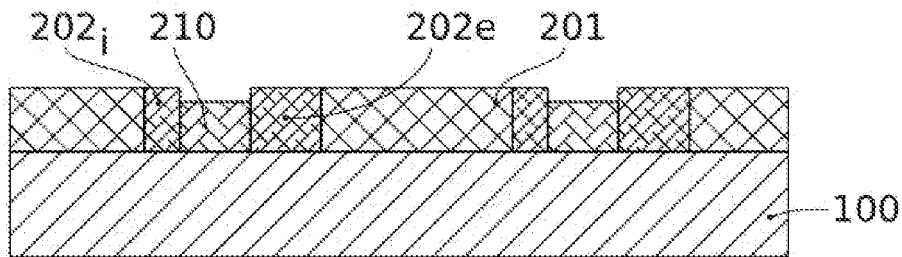


FIG. 5E

[Fig. 5F]

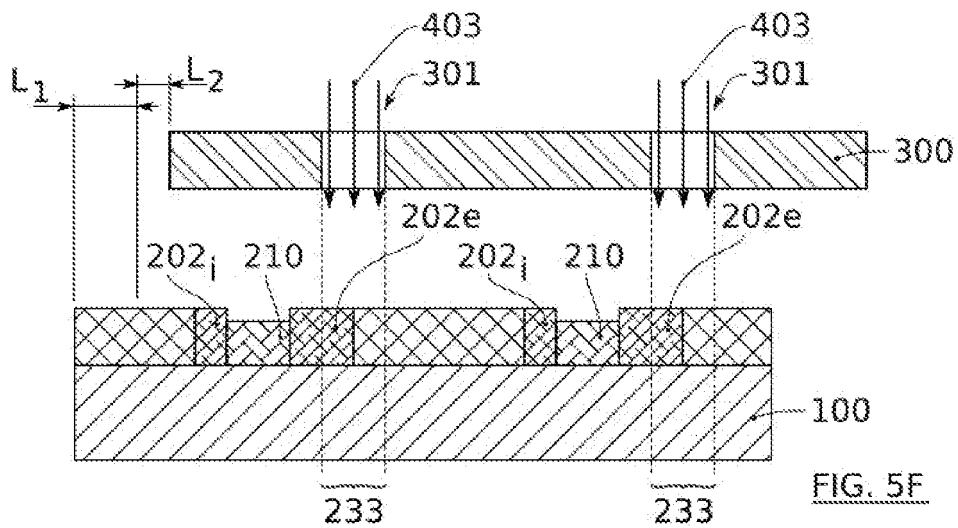


FIG. 5F

[Fig. 5G]

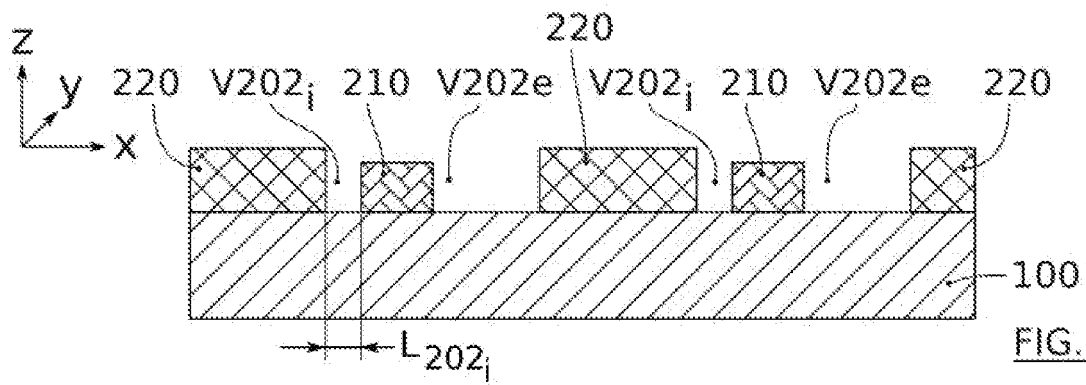


FIG. 5G

[Fig. 5H]

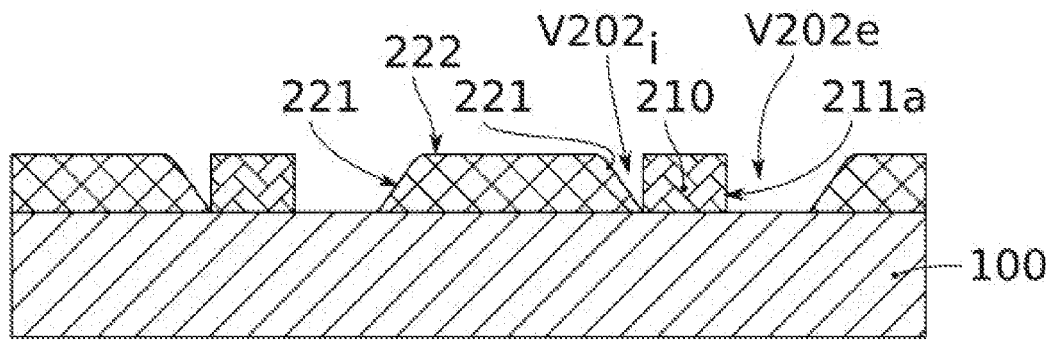


FIG. 5H

[Fig. 5I]

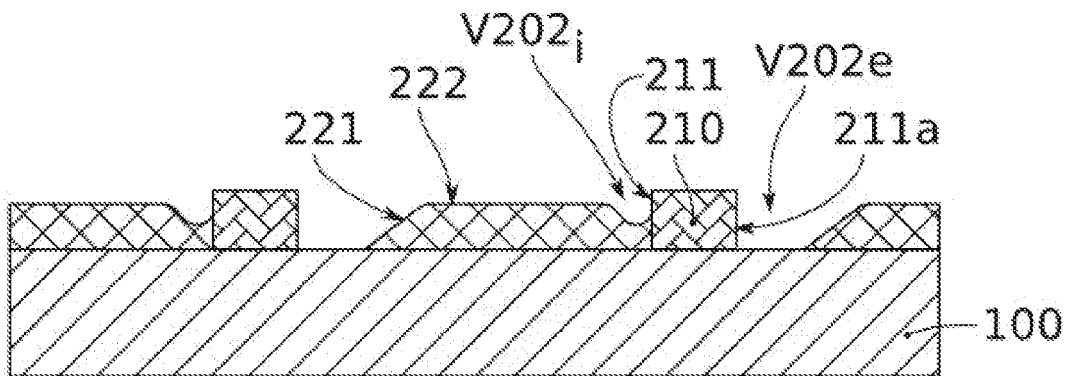


FIG. 5I

[Fig. 5J]

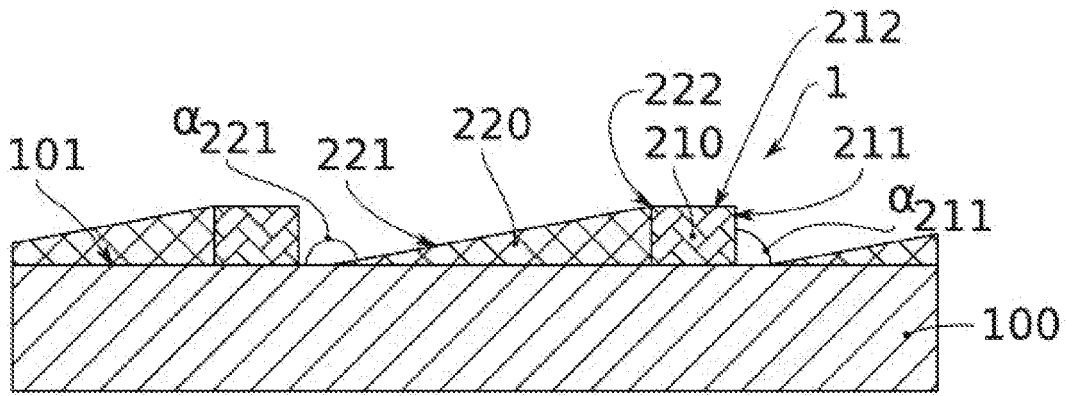


FIG. 5J

[Fig. 6A]

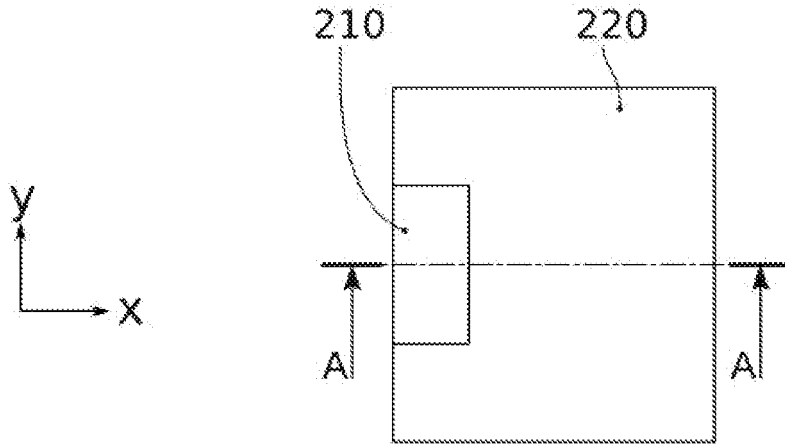


FIG. 6A

[Fig. 6B]

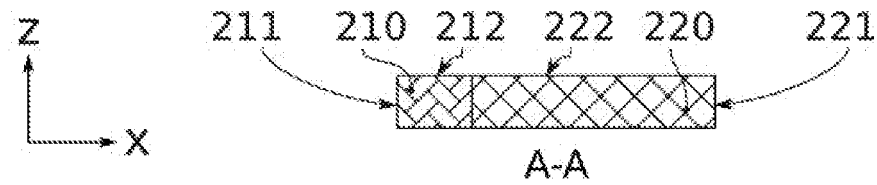


FIG. 6B

[Fig. 6C]

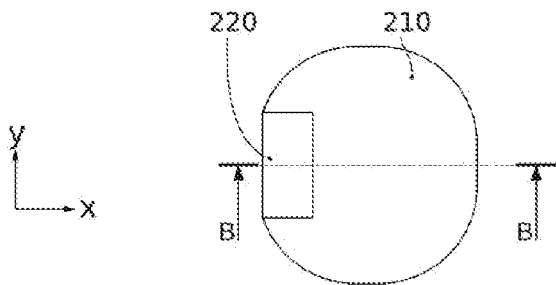


FIG. 6C

[Fig. 6D]

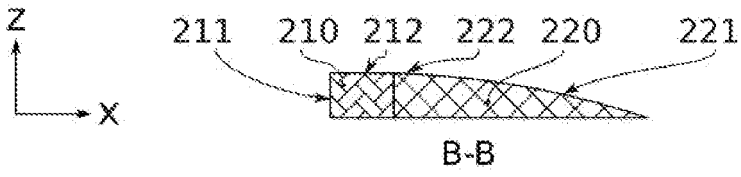


FIG. 6D

[Fig. 7A]

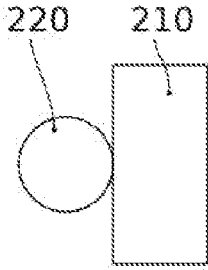


FIG. 7A

[Fig. 7B]

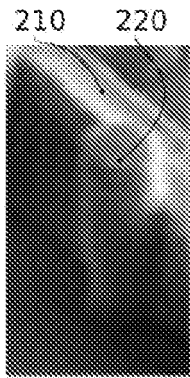


FIG. 7B

[Fig. 7C]

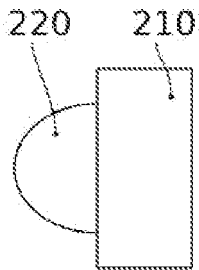


FIG. 7C

[Fig. 7D]

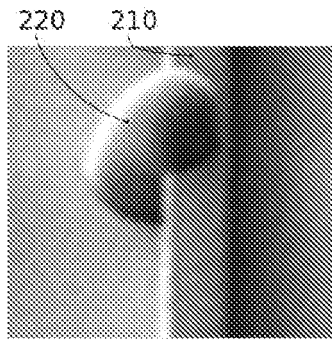


FIG. 7D

[Fig. 8]

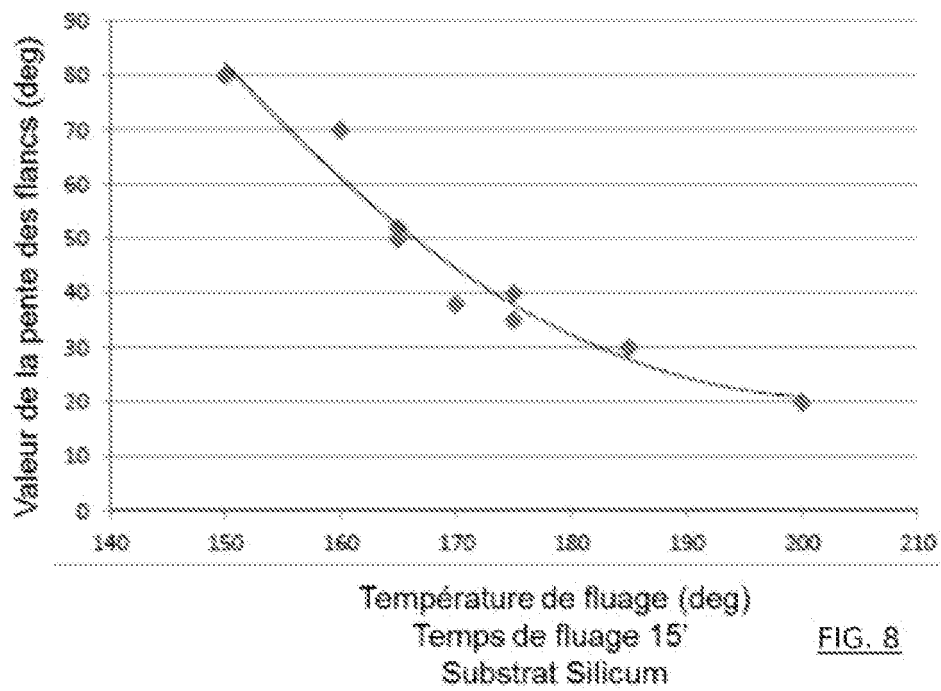


FIG. 8

[Fig. 9]

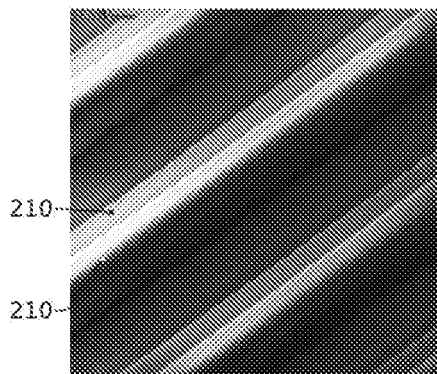


FIG. 9

[Fig. 10A]

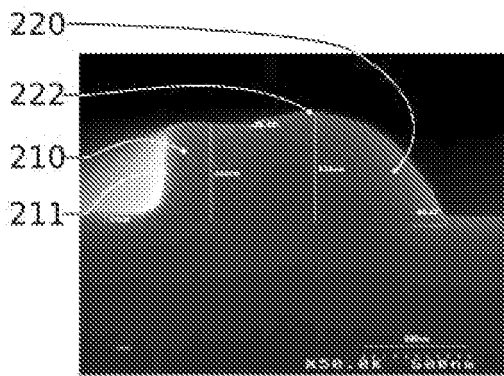


FIG. 10A

[Fig. 10B]

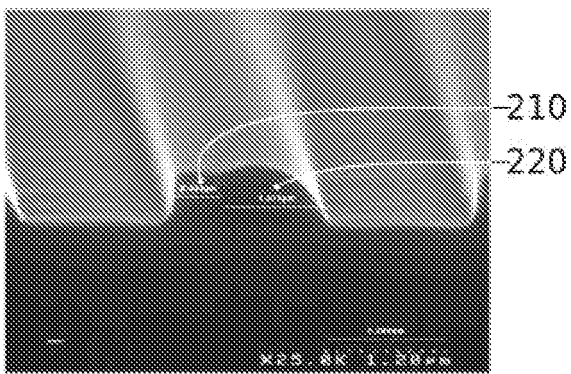


FIG. 10B

[Fig. 11A]

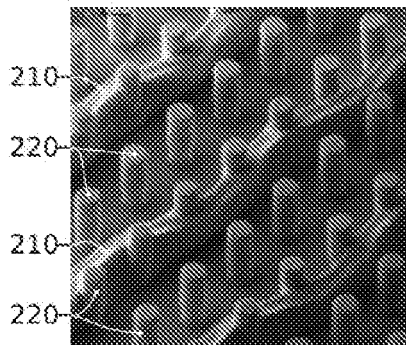


FIG. 11A

[Fig. 11B]

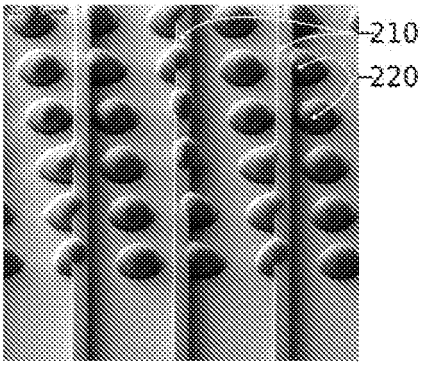


FIG. 11B

[Fig. 12]

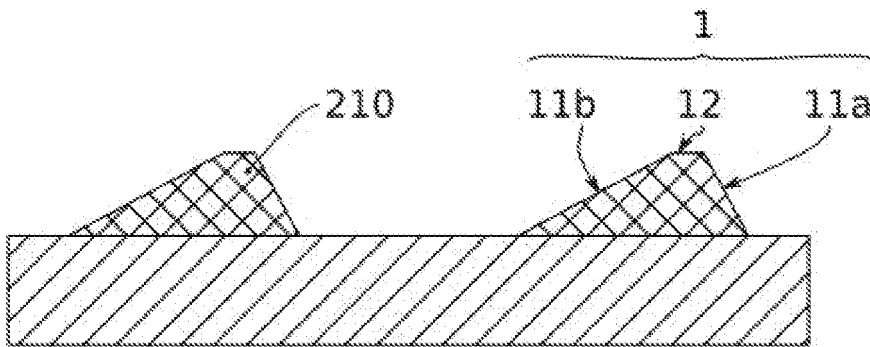


FIG. 12

[Fig. 13A]

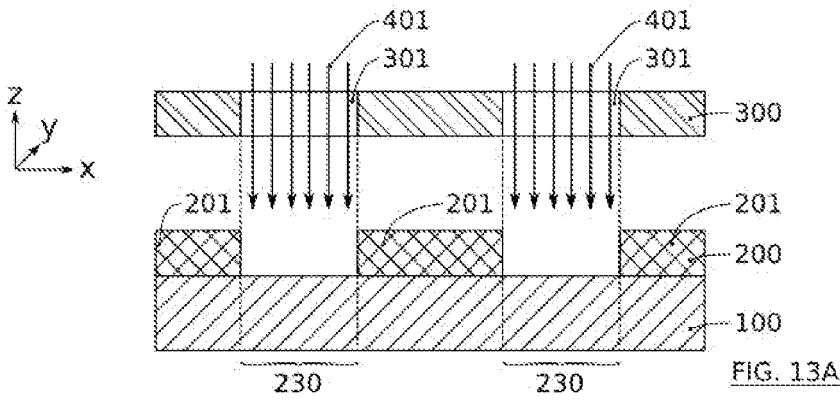


FIG. 13A

[Fig. 13B]

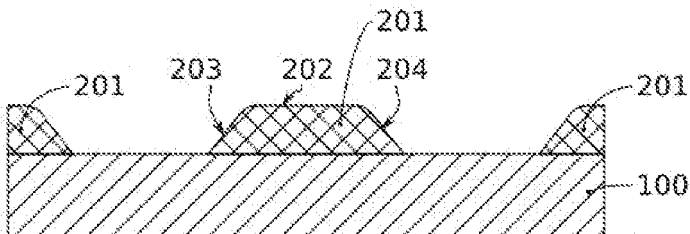


FIG. 13B

[Fig. 13C]

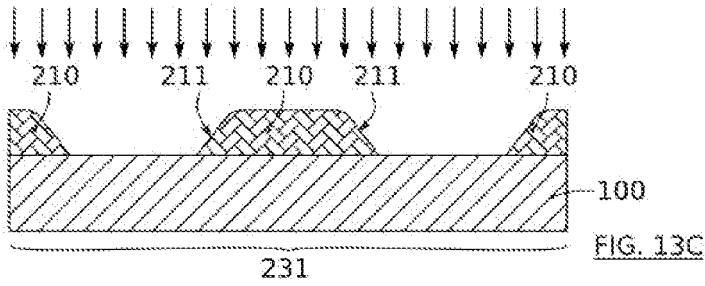


FIG. 13C

[Fig. 13D]

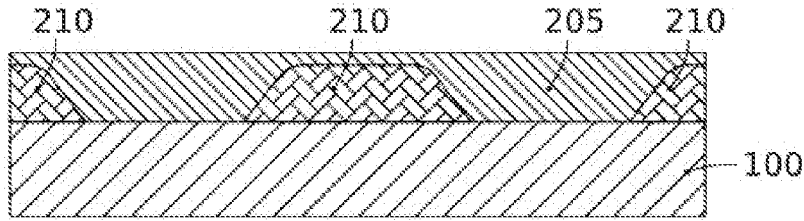


FIG. 13D

[Fig. 13E]

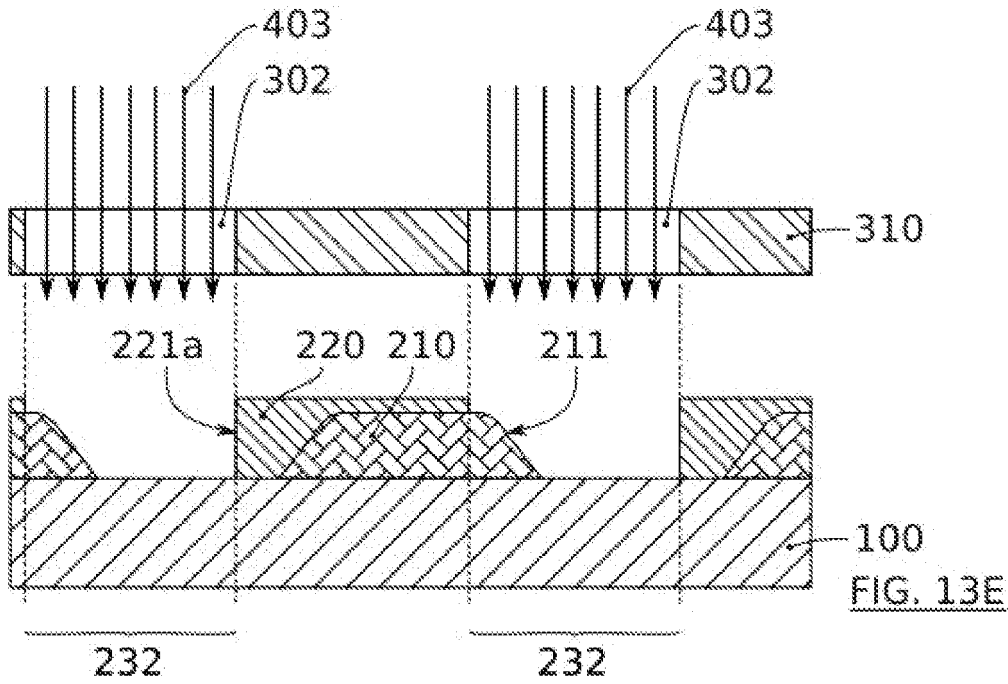


FIG. 13E

[Fig. 13F]

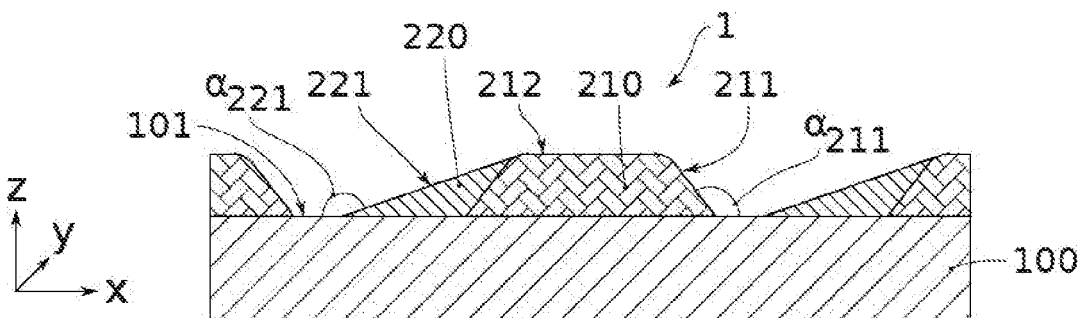


FIG. 13F

[Fig. 13G]

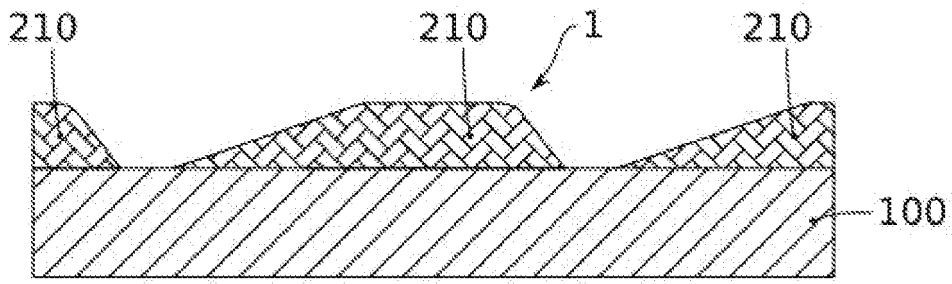


FIG. 13G

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

KIRCHNER ROBERT ET AL: "Thermal reflow of polymers for innovative and smart 3D structures: A review",
MATERIALS SCIENCE IN SEMICONDUCTOR PROCESSING, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS B.V., BARKING, UK,
vol. 92, 13 août 2018 (2018-08-13), pages 58-72, XP085586560,
ISSN: 1369-8001, DOI:
10.1016/J.MSSP.2018.07.032

US 6 147 394 A (BRUCE JAMES A [US] ET AL)
14 novembre 2000 (2000-11-14)

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

HATAKEYAMA J. ET AL.: "Inactivation technology for pitch doubling lithography",
SPIE PROC.,
vol. 7639, 25 mars 2010 (2010-03-25),
XP040533349,
DOI: 10.1117/12.849211

MCCOY JAKE ET AL: "New lithographic techniques for x-ray spectroscopy",
PROCEEDINGS OF SPIE; [PROCEEDINGS OF SPIE ISSN 0277-786X VOLUME 10524], SPIE, US,
vol. 9905, 18 juillet 2016 (2016-07-18),
pages 990524-990524, XP060074087,
DOI: 10.1117/12.2232072
ISBN: 978-1-5106-1533-5

LAWSON RICHARD A ET AL: "Positive tone cross-linked resists based on photoacid inhibition of cross linking",
PROCEEDINGS OF SPIE/ IS & T,,
vol. 9051, 26 mars 2014 (2014-03-26),
pages 90510E-90510E, XP060031042,
DOI: 10.1117/12.2046619
ISBN: 978-1-62841-730-2

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

NEANT