

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
4 août 2011 (04.08.2011)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2011/092241 A2

- (51) Classification internationale des brevets :
G03F 7/00 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/EP2011/051137
- (22) Date de dépôt international :
27 janvier 2011 (27.01.2011)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1050569 28 janvier 2010 (28.01.2010) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET
AUX ÉNERGIES ALTERNATIVES [FR/FR]; 25 rue
Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).
- (72) Inventeur; et
- (75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : LANDIS,
Stéfan [FR/FR]; 55, rue de Maubec, F-38500 Voiron
(FR).
- (74) Mandataire : ILGART, Jean-Christophe; Brevaux, 95
rue d'Amsterdam, F-75378 Paris Cedex 8 (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,
TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,
LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- Publiée :
— sans rapport de recherche internationale, sera republiée
dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)

(54) Title : MOLD FOR NANOPRINTING LITHOGRAPHY, AND METHODS FOR PRODUCING SAME

(54) Titre : MOULE POUR LA LITHOGRAPHIE PAR NANO-IMPRESSON ET PROCEDES DE REALISATION

(57) Abstract : The invention relates to a mold for nanoprinting lithography as well as the methods for producing same. Said mold comprises a surface which includes n structured area(s) with micrometric or nanoscale patterns, n being an integer greater than or equal to 1. Said structured surface belongs to a first layer which is supported by a second layer, the first layer being made of a rigid material and the second layer being made of a flexible material. Said mold can further include n intermediate layers arranged between the first layer and the second layer, n being an integer greater than or equal to 1, and wherein modulus of elasticity of the second layer is less than the modulus of elasticity of the nth intermediate layer adjacent to the second layer, and if n is greater than 1, the modulus of elasticity of the (i)th intermediate layer is greater than the modulus of elasticity of the (i + 1)th intermediate layer, with i = 1 to (n-1).

(57) Abrégé : L' invention concerne un moule pour la lithographie par nano-impression, ainsi que ces procédés de réalisation. Ce moule comporte une face qui comprend n zone (s) structurée (s) avec des motifs de taille micrométrique ou nanométrique, n étant un nombre entier supérieur ou égal à 1. Cette face structurée appartient à une première couche qui est supportée par une seconde couche, la première couche étant en un matériau rigide et la seconde couche étant en un matériau souple. Ce moule peut en outre comprendre n couches intercalaires disposées entre la première couche et la seconde couche, n étant un nombre entier supérieur ou égal à 1, et dans lequel le module d' Young de la seconde couche est inférieur au module d' Young de la n^{ième} couche intercalaire adjacente à la seconde couche, et si n est supérieur à 1, le module d' Young de la (i)^{ème} couche intercalaire est supérieur au module d' Young de la (i + 1)^{ème} couche intercalaire, avec i = 1 à (n-1).

WO 2011/092241 A2

**MOULE POUR LA LITHOGRAPHIE PAR NANO-IMPRESSION
ET PROCÉDES DE RÉALISATION**

DESCRIPTION

5 DOMAINE TECHNIQUE

L'invention concerne un moule pour la lithographie par nano-impression, ainsi que les procédés de réalisation d'un tel moule.

10 ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Il existe deux types de lithographie par nano-impression :

- la nano-impression assistée par longueur d'onde ;

15 - la nano-impression thermique.

La lithographie par nano-impression consiste, dans le cas d'une nano-impression thermique, à dupliquer des motifs par pressage à chaud d'un moule dans un film de polymère disposé sur un substrat à imprimer ou, dans le cas d'une nano-impression assistée par longueur d'onde, à dupliquer des motifs par pressage d'un moule, transparent à la longueur d'onde d'utilisation du moule, dans un film de polymère photosensible disposé sur un substrat et application d'un rayonnement de longueur d'onde d'utilisation (par exemple un rayonnement UV) à travers le moule. Les motifs reproduits dans le film de polymère sont ensuite gravés dans le substrat à imprimer sous-jacent au film de polymère.

On précise que la nano-impression désigne l'impression de motifs dont la taille (longueur, largeur et/ou diamètre) est comprise entre quelques nanomètres et plusieurs centaines de micromètres.

5 Typiquement, le moule utilisé pour mettre en forme le film de polymère est un moule rigide.

Le plus souvent, le moule rigide est réalisé dans un substrat en matériau facilement structurable, par exemple en silicium, et est obtenu
10 par des techniques standards de lithographie et gravure. On peut ainsi obtenir des moules de grandes surfaces (plusieurs centaines de cm²).

Cependant, il est parfois nécessaire d'utiliser un matériau qui s'avère être difficilement
15 structurable, tel que la silice ou le quartz, par exemple lorsqu'on souhaite obtenir un moule transparent aux UV. Dans ce cas, la réalisation du moule par lithographie et gravure devient problématique au fur et à mesure que la résolution augmente (résolutions
20 inférieures ou égales à quelques dizaines de nanomètres).

D'autre part, l'utilisation d'un moule rigide rend très difficile, voire impossible, l'impression de motifs avec une homogénéité
25 satisfaisante : plus le moule est rigide et plus il devient difficile d'obtenir un contact homogène (ou contact conforme) en tout point entre un moule rigide et le substrat à graver. En effet, comme les surfaces à mettre en contact ne sont jamais parfaitement planes,
30 il est nécessaire, pour qu'il y ait un contact sur toute la surface entre le moule et le substrat à

imprimer, soit que le moule puisse se déformer, ce qui n'est possible que si le moule n'est pas trop rigide, soit de diminuer la surface du moule pour augmenter sa planéité. De ce fait, la surface maximale qu'il est possible d'imprimer en une seule étape à l'aide d'un moule rigide en quartz dans le cadre d'une lithographie par nano-impression assistée par UV est typiquement de quelques cm², alors qu'il est possible d'imprimer plusieurs centaines de cm² en utilisant un moule en silicium dans le cadre d'une lithographie par nano-impression thermique.

Ainsi, afin, d'une part, d'éviter un contact qui pourrait être destructeur entre le moule rigide et le substrat à imprimer, et d'autre part, d'homogénéiser le pressage du moule sur le film de polymère, il est connu de conserver une fine couche résiduelle de polymère au fond des motifs dupliqués dans le film de polymère. L'épaisseur résiduelle est par la suite éliminée par un plasma d'oxygène et les motifs du moule sont transférés dans le substrat sous-jacent par gravure.

L'inconvénient de cette solution est qu'elle nécessite d'obtenir une épaisseur résiduelle uniforme afin d'obtenir un transfert des motifs tout en conservant les dimensions latérales des motifs. Or, lors de l'impression des motifs, on observe l'apparition d'une uniformité locale de l'épaisseur résiduelle à proximité des bords du moule, qui est provoquée par le passage d'une zone dense en motifs à une zone sans motifs. Afin de minimiser le nombre de ces uniformités locales, il est donc préférable

d'utiliser un moule de grande surface plutôt que plusieurs petits moules. Cependant, nous venons de démontrer que la surface maximale d'un moule était limitée par sa rigidité.

5 Par ailleurs, il est connu d'utiliser un moule souple (c'est-à-dire à faible module d'Young) en PolyDiMethylSiloxane (PDMS). L'élasticité d'un moule en PDMS permet d'obtenir un contact conforme entre le moule et le substrat à imprimer. Cependant, la
10 résolution d'un tel moule est limitée à 0,5 micromètre du fait des problèmes de stabilité mécanique du moule au cours du pressage : les motifs de petites tailles (typiquement inférieures à 500 nm) n'ont pas une stabilité mécanique suffisante pour résister au cours
15 du pressage, ce qui entraîne plusieurs types de déformations mécaniques du moule, limitant de ce fait la résolution potentielle du moule. Un moule en PDMS ne peut donc pas être mis en œuvre pour réaliser des structures ayant des résolutions de quelques
20 nanomètres, voire quelques dizaines de nanomètres.

 Il a été envisagé de modifier la formulation chimique du PDMS afin d'améliorer ses propriétés mécaniques (voir le document [1] référencé à la fin de la description). L'étude de l'effondrement
25 d'un moule en PDMS en fonction du temps de polymérisation du PDMS permet de supposer que l'impression de motifs plus fins est possible avec un moule présentant un module élastique et une dureté de surface plus importants. Toutefois, une rigidité ou un
30 module élastique trop important peut rendre le matériau fragile et limiter sa capacité à générer un contact

conforme avec le substrat à imprimer. De plus, la mise en œuvre du PDMS par réticulation thermique reste une limite intrinsèque pour la fabrication de moule présentant une très haute résolution. En effet, le cycle de refroidissement du PDMS peut induire des contraintes mécaniques dans le matériau et par conséquent limiter sa résolution. Il en résulte que, dès lors que l'on souhaite obtenir des motifs ayant une taille inférieure à 100 nm, il s'avère nécessaire d'utiliser des moules en matériau rigide.

Au vu des problèmes posés par les moules de l'art antérieur, l'inventeur s'est fixé comme but de concevoir un moule pour la lithographie par nano-impression qui permette de minimiser les défauts créés pendant l'étape d'impression, et tout particulièrement de minimiser la distribution d'épaisseur résiduelle, en permettant l'obtention d'un contact conforme entre le moule et le substrat à imprimer, le moule pouvant avoir des motifs dont la taille est comprise entre quelques nanomètres et plusieurs micromètres et ceci que le moule soit adapté à une lithographie par nano-impression thermique ou assistée par longueur d'onde (par exemple UV).

EXPOSÉ DE L'INVENTION

Ce but est atteint grâce à un moule pour la lithographie par nano-impression ayant une première face structurée comprenant n zone(s) structurée(s) avec des motifs de taille micrométrique ou nanométrique, n étant un nombre entier supérieur ou égal à 1, caractérisé en ce que ladite première face structurée appartient à une première couche qui est supportée par

une seconde couche, la première couche étant en un matériau rigide et la seconde couche étant en un matériau souple.

Dans ce qui précède et ce qui suit, l'expression « structurée avec des motifs de taille micrométrique ou nanométrique », appliquée à une face ou à une couche, signifie que la face ou la couche en question comprend des motifs dont au moins une dimension choisie parmi la longueur, la largeur et le diamètre est inférieure à 1 mm et supérieure à 1µm, dans le cas de motifs de taille micrométrique, et est supérieure ou égale à 1 nanomètre et inférieure à 1000 nanomètres dans le cas de motifs de taille nanométrique.

Dans le cadre de l'invention, les motifs peuvent être en relief ou encaissés (en creux). Ils peuvent être dispersés de manière homogène dans les n zones, et sont de préférence équidistants au sein d'une même zone. Avantageusement, les motifs sont identiques (ils ont les mêmes dimensions et la même forme). Avantageusement, les n zones structurées sont identiques.

Dans ce qui précède et ce qui suit, le terme « rigide », appliqué à une couche, signifie que cette couche présente une déformation en flexion (flèche) inférieure à une valeur limite déterminée lorsqu'une pression déterminée est appliquée sur la surface de cette couche.

De même, dans ce qui précède et ce qui suit, le terme « souple », appliqué à une couche, signifie que cette couche présente une déformation en

flexion supérieure ou égale à une valeur limite déterminée lorsqu'une pression déterminée est appliquée sur la surface de cette couche.

Pour déterminer la valeur limite, il faut effectuer quelques calculs simples. Par exemple, prenons le cas d'un moule en silicium et en quartz ayant les caractéristiques suivantes :

$$\begin{array}{ll}
 E_{\text{Si}} = 130 \text{ GPa} & E_{\text{SiO}_2} = 71,7 \text{ GPa} \\
 \nu_{\text{Si}} = 0,28 & \nu_{\text{SiO}_2} = 0,16 \\
 h_{\text{Si}} = 750 \text{ } \mu\text{m} & h_{\text{SiO}_2} = 6 \text{ mm}
 \end{array}$$

où E est le module d'Young, ν est le coefficient de Poisson et h est la hauteur de la couche concernée.

La rigidité à la flexion d'une pièce est donnée par la formule suivant :

$$D = \frac{E \times h^3}{12 \times (1 - \nu^2)}$$

Pour une plaque carrée de côté a , ayant une épaisseur h , la déflexion maximale générée (en flexion) w est à peu près égale à :

$$w \approx \frac{P \times a^4}{D}$$

Donc, si dans l'exemple ci-dessus la pression exercée uniformément sur le moule est égale à $2 \cdot 10^5$ Pa et que le côté a des plaques a une valeur de $20 \cdot 10^{-3}$ m, alors on a :

$$w_{\text{Si}} \approx 500 \text{ } \mu\text{m}$$

$$w_{\text{SiO}_2} \approx 25 \text{ } \mu\text{m}$$

Par ces calculs, on a obtenu la flèche de chaque couche prise individuellement.

Pour obtenir la valeur limite permettant de considérer qu'une couche est souple ou rigide, il faut comparer la valeur de la flèche calculée et la valeur de la rugosité de surface (ou topographie) du substrat que l'on souhaite imprimer en utilisant le moule. En effet, lorsqu'on fait une impression, il faut avoir un contact intime (aussi appelé contact « conforme ») entre le moule et le substrat à imprimer ; il faut donc que toute la surface du moule soit en contact direct avec toute la surface du substrat à imprimer.

Par exemple, un substrat constitué d'une plaque de silicium de 200 mm de diamètre présente une rugosité de 50 μm (donnée fournie par le fournisseur de la plaque de silicium). Aussi, si la couche du moule a une flèche supérieure ou égale à la valeur de rugosité du substrat à imprimer donnée par le fabricant, à savoir 50 μm , cette couche sera considérée comme étant en un matériau souple par rapport au substrat que l'on cherche à imprimer. Par contre, si la valeur de la flèche de la couche du moule est inférieure à la valeur de rugosité du substrat à imprimer, la couche sera considérée comme étant un matériau rigide.

Ainsi, dans notre exemple, la couche de silicium ($w_{\text{Si}} \approx 500 \mu\text{m}$) est considérée comme étant souple, tandis que la couche de quartz ($w_{\text{SiO}_2} \approx 25 \mu\text{m}$) est considérée comme étant rigide.

Avantageusement, le moule comprend en outre p couches intercalaires disposées entre la première couche et la seconde couche, p étant un nombre entier supérieur ou égal à 1, et dans lequel le module d'Young de la seconde couche est inférieur au module d'Young de

la $p^{\text{ième}}$ couche intercalaire adjacente à la seconde couche, et si p est supérieur à 1, le module d'Young de la $(i)^{\text{ième}}$ couche intercalaire est supérieur au module d'Young de la $(i+1)^{\text{ième}}$ couche intercalaire, avec $i=1$ à 5 $(p-1)$. De préférence, le module d'Young de la première couche est supérieur ou égal au module d'Young de la 1^{ère} couche intercalaire. On a ainsi un gradient en module de Young, ce qui permet d'éviter les transitions brutales entre la couche rigide et la couche souple et 10 éviter que la structure ne casse. Cela permet en outre de diminuer l'épaisseur de la première couche rigide. Cela permet une meilleure répartition en face structurée de l'effort appliqué sur la face opposée du moule.

15 Il est à noter que les couches comprises dans le moule ont une épaisseur comprise entre quelques centaines de micromètres et quelques millimètres.

Avantageusement, la seconde couche du moule est elle-même supportée par un support en matériau rigide. Le support peut être un substrat ou une couche 20 en matériau rigide. L'ajout de ce support permet de renforcer le moule et de réduire sa fragilité. Cela permet en effet de pouvoir appuyer sur le support rigide lors de la manipulation sans abîmer la seconde 25 couche. Selon une variante, le support en matériau rigide est un élément de forme cylindrique, la seconde couche étant supportée par la partie cylindrique du support. L'utilisation d'un élément de forme cylindrique comme support permet de réaliser, par 30 exemple, un rouleau à impression (« roller print » en anglais).

Avantageusement, le moule comporte en outre une seconde face structurée comprenant m zone(s) structurée(s) avec des motifs de taille micrométrique ou nanométrique, m étant un nombre entier supérieur ou égal à 1, ladite seconde face appartenant à une troisième couche, qui est en un matériau rigide, la première et la seconde faces structurées étant situées de part et d'autre de la seconde couche en matériau souple. Cette disposition particulière a l'avantage de permettre de doubler la cadence d'impression en utilisant un tel moule.

Avantageusement, au moins une face parmi la première face structurée et la seconde face structurée comprend une seule zone structurée (c'est-à-dire $n=1$ et/ou $m=1$), ladite zone structurée occupant l'ensemble de la surface de ladite au moins une face. En d'autres termes, la structuration n'est pas localisée en certains endroits de la face, mais s'étend sur l'ensemble de la face.

Selon une variante particulière, le moule peut comprendre en outre une couche intercalée entre la première couche et la seconde couche, ladite couche intercalée étant en un matériau rigide, la face de la couche intercalée qui est opposée à la première couche étant structurée selon n cavités disposées en regard des n zones structurées de la première couche et étant recouverte par la seconde couche de manière à ce que les n cavités soient remplies par un matériau souple. Il est tout à fait possible que cette couche intercalée et la première couche soient en un matériau identique ; cela revient alors à avoir, au lieu d'une première

couche et d'une couche intercalée, une seule et unique couche (la première couche), cette unique couche ayant sur une face les n zones structurées et sur sa face opposée n cavités en regard des n zones structurées.

5 De manière générale, le moule selon l'invention peut être utilisé pour toute technologie de mise en forme d'un matériau nécessitant un moule, et en particulier pour réaliser une impression par microcontact.

10 Le moule peut également être adapté à une utilisation particulière, telle qu'une nano-impression assistée à une longueur d'onde particulière ou une nano-impression thermique, selon les matériaux constitutifs du moule.

15 Ainsi, l'ensemble des couches constituant le moule, ainsi que le support s'il est présent, peuvent avantageusement être en des matériaux transparents à une longueur d'onde λ située dans la gamme des longueurs d'onde UV, c'est-à-dire à une
20 longueur d'onde comprise entre 193 nm et 400 nm, ou en des matériaux transparents à une longueur d'onde λ située dans la gamme des longueurs d'onde de la lumière visible, c'est-à-dire à une longueur d'onde comprise
25 entre 400 nm et 800 nm. On obtient alors un moule pouvant être utilisé pour réaliser une nano-impression assistée par UV ou une nano impression assistée par lumière visible, respectivement.

Selon une variante, le support peut être en quartz ou en silice, la première couche en silice et la
30 seconde couche en polydiméthylsiloxane (PDMS) ou en silicone.

Avantageusement, l'ensemble des couches constituant le moule, ainsi que le support s'il est présent, sont en des matériaux thermiquement conducteurs, c'est-à-dire des matériaux ayant une
5 conductivité thermique supérieure à quelques dizaines de $W.m^{-1}.K^{-1}$. On a alors un moule pouvant être utilisé pour réaliser une impression thermique.

Il est tout à fait possible que l'une ou plusieurs des couches constituant le moule, et
10 éventuellement le support, soit en un matériau à la fois transparent à une longueur d'onde λ et thermiquement conducteur.

D'autre part, l'invention concerne un
15 premier procédé de réalisation d'un moule pour la lithographie par nano-impression comprenant une face structurée ayant n zones structurées avec des motifs de taille micrométrique ou nanométrique, le procédé comprenant les étapes suivantes :

20 a) fourniture d'un substrat initial ;
b) structuration d'une face dudit substrat initial, appelée face avant, selon un motif représentant l'empreinte négative des n zones structurées que l'on souhaite obtenir sur la face
25 structurée du moule ;

c) dépôt d'une première couche sur la face avant du substrat initial de manière à recouvrir le relief formé à l'étape b) de structuration, la première couche et le substrat initial étant en des matériaux
30 différents et la première couche étant en un matériau rigide ;

d) dépôt d'une seconde couche sur la première couche, la seconde couche étant en un matériau souple ;

e) retrait du substrat initial.

5 On entend par réalisation d'une « empreinte négative » la réalisation d'un relief s'emboîtant parfaitement dans le relief que l'on souhaite obtenir, à savoir les n zones structurées de la face avant du moule.

10 Avantageusement, le premier procédé de réalisation comprend en outre, entre l'étape c) et l'étape d), une étape c') de structuration de la première couche de manière à obtenir n cavités en regard des n zones structurées présentes sur la face
15 opposée de la première couche.

Avantageusement, le premier procédé de réalisation comprend en outre, entre l'étape c) et l'étape d), ou entre l'étape c') et l'étape d), une étape de dépôt de p couches intercalaires sur la
20 première couche, p étant un nombre entier supérieur ou égal à 1, et dans lequel le module d'Young de la p^{ième} couche intercalaire, destinée à être adjacente à la seconde couche qui sera déposée à l'étape d), est supérieur au module d'Young de ladite seconde couche,
25 et si p est supérieur à 1, le module d'Young de la (i)^{ième} couche intercalaire est supérieur au module d'Young de la (i+1)^{ième} couche intercalaire, avec i=1 à (p-1). De préférence, le module d'Young de la première couche est supérieur ou égal au module d'Young de la
30 1^{ère} couche intercalaire. On obtient ainsi un gradient

de souplesse entre la première couche et la seconde couche.

Avantageusement, l'étape b) du procédé comprend les étapes suivantes :

- 5 - dépôt d'une couche de résine photosensible sur une face du substrat initial ;
- insolation de la couche de résine photosensible selon le motif représentant l'empreinte négative des n zones structurées que l'on souhaite
10 obtenir sur la face structurée du moule ;
- gravure de la couche de résine insolée ;
- gravure de la face du substrat initial non recouverte par la couche de résine.

Selon une première variante, l'étape e) du
15 procédé est obtenue en réalisant une gravure sélective du substrat initial. Dans ce cas, le matériau de la première couche et le matériau du substrat initial sont choisis de manière à ce qu'il soit possible de graver sélectivement le substrat initial sans graver la
20 première couche. La gravure sélective peut par exemple être une gravure humide.

Selon une seconde variante, l'étape e) du
procédé comprend l'usinage de la face arrière du
substrat initial, suivi d'une gravure sélective du
25 substrat initial.

Avantageusement, ledit premier procédé de
réalisation comprend en outre, après l'étape d) et
avant ou après l'étape e), une étape de dépôt d'un
support en matériau rigide sur la seconde couche. Le
30 dépôt du support peut ainsi se faire avant ou après le retrait du substrat initial.

L'invention concerne également un second procédé de réalisation d'un moule pour la lithographie par nano-impression comprenant une face structurée ayant n zones structurées avec des motifs de taille micrométrique ou nanométrique, le procédé comprenant les étapes suivantes :

- j) fourniture d'un substrat en matériau rigide ;
- 10 k) structuration d'une face du substrat, appelée face avant, de manière à obtenir les n zones structurées ;
- l) amincissement du substrat par attaque de la face arrière dudit substrat ;
- 15 m) dépôt d'une couche de matériau souple sur la face arrière du substrat.

Selon une variante, l'étape l) est remplacée par une étape l') de structuration de la face arrière du substrat de manière à obtenir n cavités situées en regard des n zones structurées de la face avant.

Avantageusement, le substrat est un empilement de couches comprenant, dans l'ordre, une couche de premier matériau, une couche de second matériau et une couche de troisième matériau, le premier et le troisième matériaux étant des matériaux rigides et dans lequel la couche de second matériau sert de couche d'arrêt pour la structuration effectuée à l'étape k) et/ou pour la structuration effectuée à l'étape l'). Par exemple, la structuration à l'étape l') peut être réalisée jusqu'à atteindre la couche de

second matériau. Si la structuration est obtenue par gravure, la couche de second matériau pourra être en un matériau capable de stopper la gravure. L'empilement peut par exemple être un substrat SOI.

5 Avantageusement, ledit second procédé de réalisation comprend en outre, entre l'étape l) et l'étape m), ou entre l'étape l') et l'étape m), une étape de dépôt de p couches intercalaires sur la face arrière du substrat, p étant un nombre entier supérieur
10 ou égal à 1, et dans lequel le module d'Young de la p^{ième} couche intercalaire, destinée à être adjacente à la couche de matériau souple qui sera déposée à l'étape m), est supérieur au module d'Young de ladite couche de matériau souple qui sera déposée à l'étape m), et si p
15 est supérieur à 1, le module d'Young de la (i)^{ième} couche intercalaire est supérieur au module d'Young de la (i+1)^{ième} couche intercalaire, avec i=1 à (p-1).

Avantageusement, ledit second procédé de réalisation comprend en outre, après l'étape m), une
20 étape de dépôt d'un support en matériau rigide sur la couche de matériau souple déposée à l'étape m).

Avantageusement, l'étape k) comprend les étapes suivantes :

25 - dépôt d'une couche de résine photosensible sur la face avant du substrat ;

 - insolation de la couche de résine photosensible selon un motif représentant l'empreinte positive des n zones structurées que l'on souhaite obtenir sur la face avant du substrat ;

30 - gravure de la couche de résine insolée ;

- gravure de la face avant du substrat non recouverte par la couche de résine.

On entend par réalisation d'une « empreinte positive » la réalisation d'un relief identique au relief que l'on cherche à obtenir.

Avantageusement, l'étape 1') comprend les étapes suivantes :

- dépôt d'une couche de résine photosensible sur la face arrière du substrat ;

10 - insolation de la couche de résine photosensible selon un motif représentant l'empreinte positive des n cavités que l'on souhaite obtenir sur la face arrière du substrat ;

- gravure de la couche de résine insolée ;

15 - gravure de la face arrière du substrat non recouverte par la couche de résine.

Dans le premier et le second procédés de réalisation selon l'invention, l'ensemble des couches constituant ledit moule, ainsi que le support en matériau rigide s'il est présent, sont avantageusement en des matériaux transparents à une longueur d'onde λ située dans la gamme des longueurs d'onde UV, dans la gamme des longueurs d'onde de la lumière visible et/ou sont en des matériaux thermiquement conducteurs.

Les deux procédés de réalisation selon l'invention permettent d'obtenir des moules présentant en surface des motifs de taille micrométrique ou nanométrique, tout en utilisant des procédés de lithographie et de gravure simples, bien connus et

maîtrisés par l'homme du métier. En particulier, les procédés de réalisation d'un moule selon l'invention sont compatibles avec les procédés habituellement utilisés en microélectronique et dans le domaine des microtechnologies.

Par ailleurs, alors qu'il était nécessaire dans l'art antérieur de graver des substrats de plusieurs centaines de micromètre d'épaisseur, parfois en matériaux très rigides du type silice ou quartz, très difficiles à graver, en particulier pour obtenir des motifs de taille inférieure à 100 nm, il est à présent possible de réaliser la structuration du moule dans une couche d'un matériau facilement structurable, comme par exemple une couche de silicium, sans être limité par le fait que le matériau doive être transparent ou opaque. On peut ainsi structurer une couche de silicium pour réaliser un moule pour nano-impression assisté par UV. La fabrication des moules est ainsi considérablement simplifiée et les coûts de production sont par la même occasion abaissés.

On rappelle qu'un matériau est dit opaque lorsqu'il ne laisse pas, ou peu, passer la lumière. En fait, on considérera qu'un matériau ayant une épaisseur X est opaque lorsque sa transmittance est inférieure ou égale à 0,2. De même, un matériau est dit transparent lorsqu'il laisse passer la lumière ; on considérera qu'un matériau ayant une épaisseur X est transparent lorsque sa transmittance est supérieure ou égale à 0,85. D'autre part, on rappelle que la transmittance d'un matériau est le rapport de l'énergie transmise à travers ce matériau sur l'énergie incidente. Pour une

substance donnée, à une épaisseur et à une longueur d'onde définies, la transmittance est une constante.

Le moule selon l'invention permet en outre
5 d'obtenir un contact conforme entre le moule et le substrat à imprimer lors de leur mise en contact grâce à la présence d'au moins une couche en matériau souple, qui permet d'uniformiser la pression appliquée sur le moule lors de l'impression. Le moule selon l'invention
10 présente donc à la fois une rigidité mécanique suffisante pour réaliser des impressions de motifs de quelques nanomètres, tout en ayant une certaine flexibilité (ajustée en fonction de la ou les couche(s) souple(s) utilisée(s)). On peut ainsi résoudre
15 simultanément la problématique liée à la résolution des motifs et celle liée à l'uniformité de pressage lors de l'impression.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

L'invention sera mieux comprise et d'autres
20 avantages et particularités apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre d'exemple non limitatif, accompagnée des dessins annexés parmi lesquels :

- la figure 1 représente un exemple d'un
25 moule selon l'invention,

- la figure 2 représente un autre exemple d'un moule selon l'invention,

- la figure 3 représente encore un autre exemple d'un moule selon l'invention,

30 - la figure 4 représente un autre exemple d'un moule selon l'invention,

- la figure 5 représente un autre exemple d'un moule selon l'invention,

- les figures 6a à 6h représentent les étapes d'un procédé de réalisation d'un moule selon l'invention,

- les figures 7a à 7g représentent les étapes d'un autre procédé de réalisation d'un moule selon l'invention.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

10 Le moule selon l'invention comprend sur au moins une de ses faces des motifs en deux ou trois dimensions de taille micrométrique ou nanométrique réalisés dans une couche en matériau rigide supportée par au moins une couche en matériau souple. Cette
15 combinaison d'une couche rigide et d'au moins une couche souple permet de reproduire, d'une part, des motifs de taille nanométrique, et d'obtenir, d'autre part, un contact conforme entre le moule et le substrat à imprimer lors de leur mise en contact.

20 Le moule 1 selon l'invention peut consister en une seule couche en matériau rigide 2 comportant des motifs 3 de taille micrométrique ou nanométrique, et une couche en matériau souple 4, supportant la couche en matériau rigide, comme représenté dans la figure 1.

25 Le moule selon l'invention peut également comprendre plusieurs couches en matériau souple. Par exemple, dans la figure 2, cinq couches en matériau souple, appelées couches intercalaires 5₁, 5₂, 5₃, 5₄, 5₅, sont disposées entre la couche en matériau rigide 2
30 formant la face avant du moule 1 et la couche en matériau souple 4 formant la face arrière du moule. Les

couches intercalaires sont choisies de manière à ajuster progressivement les propriétés mécaniques entre la couche en matériau rigide de la face avant et la couche en matériau souple de la face arrière du moule :

5 on a alors un gradient de propriétés mécaniques entre la couche en matériau rigide de la face avant et la couche en matériau souple de la face arrière du moule. Les couches intercalaires sont donc placées par ordre de module d'Young croissant, la couche intercalaire de plus grand module d'Young 5₅ étant placée adjacente à

10 la couche en matériau souple 4 de la face arrière du moule et ayant un module d'Young inférieur au module de ladite couche en matériau souple.

Le moule selon l'invention peut également

15 comprendre deux faces ayant des motifs de taille micrométrique ou nanométrique. Comme illustré dans la figure 3, le moule 1 peut comprendre deux couches en matériau rigide 2 et 6 structurées avec des motifs 3 de taille micrométrique ou nanométrique et disposées de part et d'autre d'une couche en matériau souple 4.

20

Eventuellement, le moule 1 selon l'invention peut comprendre en outre un support 7 en matériau rigide, disposé sur la couche souple 4 (figure 4) pour consolider le moule et le rendre moins fragile

25 ou encore pour adapter le moule à des applications spécifiques, comme par exemple des applications « roller imprint », en reportant la couche souple du moule sur un support ayant une forme cylindrique.

Dans les figures 1, 2, 4 ci-dessus,

30 l'ensemble de la surface de la première couche en matériau rigide est structurée. Mais il est possible

également que seule une zone ou plusieurs zones de la surface de la couche soient structurées. Par exemple, dans la figure 5 est représenté un moule comprenant une couche rigide 2 ayant plusieurs zones comprenant des motifs. La représentation du moule selon une vue en coupe nous permet de déduire que ce moule comprend au moins deux zones 30 ayant des motifs 3. Le moule représenté dans la figure 5 comporte en outre, entre la couche en matériau rigide 2 et la couche en matériau souple 4, une couche intercalée 11 en matériau rigide dont la face opposée à la couche en matériau rigide 2 comporte des cavités disposées en regard des zones à motifs de la couche en matériau rigide 2. Ici, selon la représentation en coupe, on voit que la couche intercalée 11 comporte deux cavités situées en face des deux zones structurées. La couche en matériau souple 4 vient recouvrir la couche intercalée 11 en remplissant complètement les cavités (le relief de la couche intercalée est complètement recouvert). La couche intercalée et la couche en matériau rigide 2 peuvent éventuellement être en un même matériau. Le fait que la couche intercalée présente des épaisseurs différentes permet d'ajuster simplement le comportement mécanique du moule au-dessus des zones structurées.

Les matériaux des couches formant le moule sont choisis en fonction de leur coefficient de Young, de préférence en fonction de leur facilité à être structurable par des étapes de lithographie et gravure, et éventuellement en fonction de leur capacité à être transparents à une longueur d'onde particulière ou thermiquement conducteurs, selon l'application que l'on

souhaite donner au moule. Par exemple, les couches d'un moule destiné à la lithographie par nano-impression assistée par UV seront en des matériaux transparents aux UV.

5 Ainsi, les matériaux rigides et transparents aux UV peuvent, par exemple, être choisis parmi la silice, le quartz ou le saphir.

 Les matériaux rigides et transparents à la lumière visible peuvent, par exemple, être choisis
10 parmi la silice, le quartz ou le saphir.

 Il se trouve que la silice, le quartz et le saphir sont des matériaux rigides qui sont transparents à la fois dans le visible et dans l'UV. Ils peuvent donc être utilisés indifféremment dans le visible ou
15 dans l'UV. On peut cependant tout à fait choisir des matériaux rigides qui soient seulement transparents dans l'UV ou dans le visible.

 Les matériaux souples et transparents aux UV peuvent, par exemple, être choisis parmi les
20 silicones, les polycarbonates, le polyéthylène, les matériaux organiques transparents aux UV.

 Les matériaux souples et transparents à la lumière visible peuvent, par exemple, être choisis
25 parmi les silicones, les polycarbonates, le polyéthylène, les matériaux organiques transparents à la lumière visible.

 Comme la remarque précédente, il se trouve que les silicones, les polycarbonates, le polyéthylène et les matériaux organiques sont des matériaux souples
30 et transparents à la fois dans le visible et dans l'UV et peuvent donc être utilisés indifféremment dans le

visible ou dans l'UV, mais il est tout à fait possible d'utiliser des matériaux souples qui soient transparents uniquement dans le visible ou dans l'UV.

Les matériaux rigides et thermiquement conducteurs peuvent, quant à eux, être choisis, par exemple, parmi le silicium, les nitrures de silicium, les carbures ou les métaux.

Les matériaux souples et thermiquement conducteurs peuvent, par exemple, être choisis parmi les silicones ou les polycarbonates.

Nous allons à présent décrire un mode de réalisation d'un moule selon l'invention. En particulier, nous allons réaliser un moule complètement transparent aux UV, comprenant une couche en matériau rigide dont toute la surface comporte des motifs de taille micrométrique et/ou nanométrique, une couche en matériau souple et un support.

On réalise tout d'abord une structuration de la face avant d'un substrat initial 13, par exemple par lithographie (lithographie électronique, optique EUV, X, par FIB...) et par gravure (gravure sèche ionique réactive, usinage ionique, gravure humide...). Pour cela, on dépose une couche de résine 14 sur une face d'un substrat de silicium ou tout autre matériau usuellement utilisé dans les procédés de micro et nano fabrication bien maîtrisés pour la fabrication de composants microélectroniques (figure 6a), on insole cette couche de résine selon un motif représentant l'image inversée (empreinte négative) du motif que l'on souhaite obtenir sur la face du moule (figure 6b), on grave la couche de

résine insolée 14 et les parties non couvertes par la résine (figure 6c). Par exemple, si l'on souhaite obtenir n zones en relief sur le futur moule, on grave ces n zones en creux sur le substrat initial. Dans
5 notre exemple, on choisit d'utiliser un substrat de silicium car le silicium permet de réaliser des gravures avec des résolutions inférieures à 10 nm et des rapports de forme (hauteur / largeur) supérieurs à 10.

10 On dépose alors une couche en un matériau rigide 2 et transparent aux UV sur la face structurée du substrat, par exemple une couche d'oxyde de silicium (figure 6d). L'épaisseur de la couche déposée 2 doit être supérieure à la hauteur des motifs réalisés dans
15 le substrat initial 13. D'autre part, le dépôt doit être réalisé de manière à remplir convenablement le relief du substrat initial.

Puis, une couche en un matériau souple 4 et transparent aux UV est déposée sur la couche d'oxyde de
20 silicium 2 (figure 6e). Par exemple, la couche déposée est en PDMS. L'avantage du PDMS est que son module d'Young peut être ajusté en fonction de la proportion du taux d'amorceur contenue dans la préparation du PDMS.

25 On retire ensuite la majorité du substrat initial 13 par polissage ou gravure de sa face arrière (figure 6f). Le reste du substrat initial est alors retiré par gravure humide, par exemple par une gravure TMAH ou KOH afin de graver sélectivement le substrat
30 initial en silicium par rapport à la couche en oxyde de silicium. Il est judicieux de choisir un couple de

matériaux pour le substrat initial et la couche de matériau rigide qui puisse subir une gravure sélective.

On obtient alors un moule comprenant une couche 2 en matériau rigide et transparent aux UV micro ou nanostructurée (couche d'oxyde de silicium ayant un module d'Young de quelques GPa), supportée par une
5 couche 4 en matériau souple et transparent aux UV (couche de PDMS ayant un module de Young compris entre quelques kPa et quelques MPa) (figure 6g).

10 Eventuellement, la couche en matériau souple 4 peut être déposée sur un support 7 en matériau rigide et transparent aux UV (par exemple un substrat) afin de réduire la fragilité du moule et de consolider sa tenue mécanique (figure 6h).

15 L'exemple ci-dessus décrit la formation d'un moule comprenant une seule face structurée, mais il est possible de réaliser un moule présentant deux faces structurées. Pour cela, on peut par exemple
20 réaliser, d'une part, un premier empilement en effectuant les étapes 6a à 6g décrites ci-dessus et, d'autre part, un second empilement, en effectuant les étapes 6a à 6g, et on fait adhérer le premier empilement au second empilement au niveau de leurs
25 couches souples respectives.

Dans l'exemple de réalisation tel que représenté dans la figure 6g ou 6h, la couche en matériau rigide 2 est structurée selon une unique zone occupant l'ensemble de sa surface. Toutefois, il est
30 tout à fait possible que les motifs soient localisés

selon une ou plusieurs zones isolées. Par ailleurs, lorsque la couche en matériau rigide comporte une ou plusieurs zones structurées localisées, il est possible que le moule comprenne en outre une autre couche en matériau rigide (appelée couche intercalée) sur la couche en matériau rigide comportant les motifs. Dans ce cas, la couche intercalée en matériau rigide (et éventuellement transparent aux UV dans cet exemple) comporte un nombre de cavités égal au nombre de zones structurées présentes sur la couche en matériau rigide. Dans l'exemple représenté dans les figures 6a à 6h, la couche intercalée sera déposée sur la couche en oxyde de silicium 2 à l'étape 6d. La couche intercalée est structurée avec des cavités et une couche en matériau souple est déposée sur la couche intercalée. On procède ensuite aux étapes 6f à 6h. Il est possible que la couche intercalée et la couche en matériau rigide soient en un même matériau. Il est également possible que la couche intercalée et la couche en matériau rigide soient une seule et même couche structurée sur sa face avant et sur sa face arrière. Un autre exemple de réalisation d'un moule comprenant une couche intercalée est détaillé ci-dessus.

25 Selon un autre exemple de réalisation, on réalise un moule comportant une couche en matériau rigide ayant des zones amincies et remplies par une couche en matériau souple.

30 Tout d'abord, on réalise la structuration d'une face d'un substrat 15. Par exemple, le substrat 15 est un substrat SOI consistant en un empilement

d'une couche de silicium 16, une couche enterrée d'oxyde de silicium 17 et une couche de silicium 18.

La structuration est obtenue en déposant une couche de résine photosensible 19 sur la face avant du substrat (figure 7a), en insolant la couche de résine selon un motif représentant les n zones structurées que l'on souhaite obtenir (figure 7b) et en gravant la couche de résine insolée et les parties non couvertes par la résine (figure 7c). La profondeur des motifs gravés peut être inférieure ou égale à l'épaisseur de la couche de silicium 16 du substrat SOI. Si elle est égale à l'épaisseur de la couche de silicium 16, la couche d'oxyde de silicium 17 du substrat SOI sert alors de couche d'arrêt de la gravure.

On structure ensuite la face arrière du substrat de manière à ce qu'en regard de chaque zone structurée sur la face avant du substrat corresponde une cavité en face arrière du substrat. La ou les cavités peuvent être obtenues par dépôt d'une couche de résine 20 sur la face arrière du substrat (figure 7d), insolation de la couche de résine selon un motif représentant la ou les cavités que l'on cherche à obtenir, puis gravure de la résine insolée et des parties non recouvertes par la résine (figure 7e). La gravure peut éventuellement être réalisée jusqu'à atteindre la couche d'oxyde de silicium, qui joue alors le rôle de couche d'arrêt de gravure. Ainsi, on est sûr que la gravure en face arrière du substrat ne débouchera pas en face avant sur les motifs des n zones structurées.

On dépose alors une couche en matériau souple 4, par exemple en silicone ou en polydiméthylsiloxane (PDMS), sur la face arrière du substrat de manière à recouvrir le relief formé par la
5 ou les cavités (figure 7f).

La réalisation des n cavités en face arrière du substrat permet de déposer le matériau souple 4 au plus près des zones structurées présentes sur la face avant du substrat.

10 Eventuellement, on peut renforcer la tenue mécanique du moule en déposant la couche en matériau souple du moule sur un support 7 en matériau rigide (figure 7g).

Le moule ainsi obtenu comporte une couche
15 en matériau rigide présentant des épaisseurs différentes, ce qui permet d'ajuster simplement le comportement mécanique du moule. En amincissant l'épaisseur de la couche en matériau rigide à l'aplomb des zones comprenant les motifs et en remplissant
20 l'espace ainsi créé avec un matériau souple, on peut en effet uniformiser l'effort exercé sur le moule au niveau des motifs et atteindre plus rapidement l'état final et uniforme de pressage.

25 Dans les exemples ci-dessus, nous avons décrits différentes variantes, mais d'autres variantes sont également possibles. A ce sujet, il est à noter que les couches 16, 17 et 18 peuvent être en un même matériau (par exemple, les trois couches peuvent être
30 en silicium) ; les couches 16 et 18 peuvent être en un même matériau, différent du matériau de la couche 17

(par exemple, les couches 16 et 18 peuvent être en silicium, tandis que la couche 17 est en oxyde de silicium) ; les couches 16 et 17 peuvent être en un même matériau, différent du matériau de la couche 18

5 (par exemple, les couches 16 et 17 peuvent être en oxyde de silicium, tandis que la couche 18 est en silicium) ; les couches 17 et 18 peuvent être en un même matériau, différent du matériau de la couche 16

(par exemple, les couches 17 et 18 peuvent être en

10 silicium, tandis que la couche 16 est en oxyde de silicium ou en nitrure de silicium Si_xN_y) ; les couches 16, 17 et 18 peuvent également être en des matériaux différents (par exemple, la couche 16 peut être en nitrure de silicium Si_xN_y , la couche 17 peut être en

15 oxyde de silicium et la couche 18 peut être en silicium).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Schmid H, Michel B., "Siloxane polymers for high-resolution, high-accuracy soft lithography",
5 Macromolecules, 33, p 3042-3049 (2000).

REVENDICATIONS

1. Moule (1) pour la lithographie par nano-
impression ayant une première face structurée (8)
5 comprenant n zone(s) structurée(s) avec des motifs (3)
de taille micrométrique ou nanométrique, n étant un
nombre entier supérieur ou égal à 1, caractérisé en ce
que ladite première face structurée (8) appartient à
une première couche (2) qui est supportée par une
10 seconde couche (4), la première couche (2) étant en un
matériau rigide et la seconde couche (4) étant en un
matériau souple.

2. Moule pour la lithographie par nano-
15 impression selon la revendication 1, comprenant en
outre p couches intercalaires ($5_1, 5_2, 5_3, 5_4, 5_5$)
disposées entre la première couche (2) et la seconde
couche (4), p étant un nombre entier supérieur ou égal
à 1, et dans lequel le module d'Young de la seconde
20 couche (4) est inférieur au module d'Young de la $p^{\text{ième}}$
couche intercalaire (5_5) adjacente à la seconde couche
(4), et si p est supérieur à 1, le module d'Young de la
(i)^{ième} couche intercalaire est supérieur au module
d'Young de la (i+1)^{ième} couche intercalaire, avec i=1 à
25 (p-1).

3. Moule pour la lithographie par nano-
impression selon la revendication 1 ou 2, dans lequel
la seconde couche (4) est elle-même supportée par un
30 support (7) en matériau rigide.

4. Moule pour la lithographie par nano-
impression selon la revendication 1 ou 2, ledit moule
ayant en outre une seconde face structurée (9)
comprenant m zone(s) structurée(s) avec des motifs (10)
5 de taille micrométrique ou nanométrique, m étant un
nombre entier supérieur ou égal à 1, ladite seconde
face structurée (9) appartenant à une troisième couche
(6), qui est en un matériau rigide, la première (8) et
la seconde (9) faces structurées étant situées de part
10 et d'autre de la seconde couche (4) en matériau souple.

5. Moule pour la lithographie par nano-
impression selon l'une quelconque des revendications 1
à 4, comprenant en outre une couche intercalée (11)
15 entre la première couche (2) et la seconde couche (4),
ladite couche intercalée (11) étant en un matériau
rigide, la face de la couche intercalée (11) qui est
opposée à la première couche (2) étant structurée selon
n cavités (12) disposées en regard des n zones
20 structurées (30) de la première couche (2) et étant
recouverte par la seconde couche (4) de manière à ce
que les n cavités soient remplies par un matériau
souple.

25 6. Moule pour la lithographie par nano-
impression selon l'une quelconque des revendications 1
à 5, dans lequel l'ensemble des couches (2 ; 4 ; 6 ;
5₁, 5₂, 5₃, 5₄, 5₅ ; 11) constituant le moule, ainsi que
le support (7) s'il est présent, sont en des matériaux
30 transparents à une longueur d'onde λ située dans la
gamme des longueurs d'onde UV ou de la lumière visible.

7. Moule pour la lithographie par nano-
impression selon la revendication 3, dans lequel le
support (7) est en quartz ou en silice, la première
couche (2) est en silice et la seconde couche (4) est
5 en polydiméthylsiloxane (PDMS) ou en silicone.

8. Moule pour la lithographie par nano-
impression selon l'une quelconque des revendications 1
à 7, dans lequel l'ensemble des couches (2 ; 4 ; 6 ;
10 5₁, 5₂, 5₃, 5₄, 5₅ ; 11) constituant le moule, ainsi que
le support (7) s'il est présent, sont en des matériaux
thermiquement conducteurs.

9. Procédé de réalisation d'un moule pour
15 la lithographie par nano-impression comprenant une face
structurée ayant n zones structurées avec des motifs de
taille micrométrique ou nanométrique, le procédé
comprenant les étapes suivantes :

a) fourniture d'un substrat initial (13) ;
20 b) structuration d'une face dudit substrat
initial, appelée face avant, selon un motif
représentant l'empreinte négative des n zones
structurées que l'on souhaite obtenir sur la face
structurée du moule ;

25 c) dépôt d'une première couche (2) sur la
face avant du substrat initial (13) de manière à
recouvrir le relief formé à l'étape b) de
structuration, la première couche (2) et le substrat
initial (13) étant en des matériaux différents et la
30 première couche (2) étant en un matériau rigide ;

d) dépôt d'une seconde couche (4) sur la première couche (2), la seconde couche étant en un matériau souple ;

e) retrait du substrat initial (13).

5

10. Procédé de réalisation d'un moule pour la lithographie par nano-impression selon la revendication 9, comprenant en outre, entre l'étape c) et l'étape d), une étape c') de structuration de la première couche (2) de manière à obtenir n cavités en regard des n zones structurées présentes sur la face opposée de la première couche (2).

11. Procédé de réalisation d'un moule pour la lithographie par nano-impression selon la revendication 9 ou la revendication 10, comprenant en outre, entre l'étape c) et l'étape d), ou entre l'étape c') et l'étape d), une étape de dépôt de p couches intercalaires ($5_1, 5_2, 5_3, 5_4, 5_5$) sur la première couche (2), p étant un nombre entier supérieur ou égal à 1, et dans lequel le module d'Young de la $p^{\text{ième}}$ couche intercalaire (5_5), destinée à être adjacente à la seconde couche (4) qui sera déposée à l'étape d), est supérieur au module d'Young de ladite seconde couche, et si p est supérieur à 1, le module d'Young de la $(i)^{\text{ième}}$ couche intercalaire est supérieur au module d'Young de la $(i+1)^{\text{ième}}$ couche intercalaire, avec $i=1$ à $(p-1)$.

12. Procédé de réalisation d'un moule pour la lithographie par nano-impression selon l'une

quelconque des revendications 9 à 11, comprenant en outre après l'étape d) et avant ou après l'étape e), une étape de dépôt d'un support (7) en matériau rigide sur la seconde couche (4).

5

13. Procédé de réalisation d'un moule pour la lithographie par nano-impression selon l'une quelconque des revendications 9 à 12, dans lequel l'ensemble des couches constituant ledit moule, ainsi que le support en matériau rigide s'il est présent, sont en des matériaux transparents à une longueur d'onde λ située dans la gamme des longueurs d'onde UV, dans la gamme des longueurs d'onde de la lumière visible et/ou sont en des matériaux thermiquement conducteurs.

15

14. Procédé de réalisation d'un moule pour la lithographie par nano-impression comprenant une face structurée ayant n zones structurées avec des motifs de taille micrométrique ou nanométrique, le procédé comprenant les étapes suivantes :

20

j) fourniture d'un substrat (15) en matériau rigide ;

25

k) structuration d'une face du substrat (15), appelée face avant, de manière à obtenir les n zones structurées ;

l) amincissement du substrat (15) par attaque de la face arrière dudit substrat ;

30

m) dépôt d'une couche (4) de matériau souple sur la face arrière du substrat.

15. Procédé de réalisation d'un moule pour la lithographie par nano-impression selon la revendication 14, dans lequel l'étape l) est remplacée par une étape l') de structuration de la face arrière du substrat (15) de manière à obtenir n cavités situées en regard des n zones structurées de la face avant.

16. Procédé de réalisation d'un moule pour la lithographie par nano-impression selon la revendication 14 ou la revendication 15, dans lequel le substrat (15) est un empilement de couches comprenant, dans l'ordre, une couche de premier matériau (16), une couche de second matériau (17) et une couche de troisième matériau (18), le premier et le troisième matériaux étant des matériaux rigides et dans lequel la couche de second matériau (17) sert de couche d'arrêt pour la structuration effectuée à l'étape k) et/ou pour la structuration effectuée à l'étape l').

17. Procédé de réalisation d'un moule pour la lithographie par nano-impression selon la revendication 14 ou la revendication 15, comprenant en outre, entre l'étape l) et l'étape m), ou entre l'étape l') et l'étape m), une étape de dépôt de p couches intercalaires ($5_1, 5_2, 5_3, 5_4, 5_5$) sur la face arrière du substrat (15), p étant un nombre entier supérieur ou égal à 1, et dans lequel le module d'Young de la $p^{\text{ième}}$ couche intercalaire, destinée à être adjacente à la couche de matériau souple (4) qui sera déposée à l'étape m), est supérieur au module d'Young de ladite couche de matériau souple qui sera déposée à l'étape

m), et si p est supérieur à 1, le module d'Young de la $(i)^{\text{ième}}$ couche intercalaire est supérieur au module d'Young de la $(i+1)^{\text{ième}}$ couche intercalaire, avec $i=1$ à $(p-1)$.

5

18. Procédé de réalisation d'un moule pour la lithographie par nano-impression selon la revendication 16 ou 17, comprenant en outre, après l'étape m), une étape de dépôt d'un support (7) en
10 matériau rigide sur la couche de matériau souple déposée à l'étape m).

19. Procédé de réalisation d'un moule pour la lithographie par nano-impression selon l'une
15 quelconque des revendications 14 à 18, dans lequel l'ensemble des couches constituant ledit moule, ainsi que le support en matériau rigide s'il est présent, sont en des matériaux transparents à une longueur d'onde λ située dans la gamme des longueurs d'onde UV,
20 dans la gamme des longueurs d'onde de la lumière visible et/ou sont en des matériaux thermiquement conducteurs.

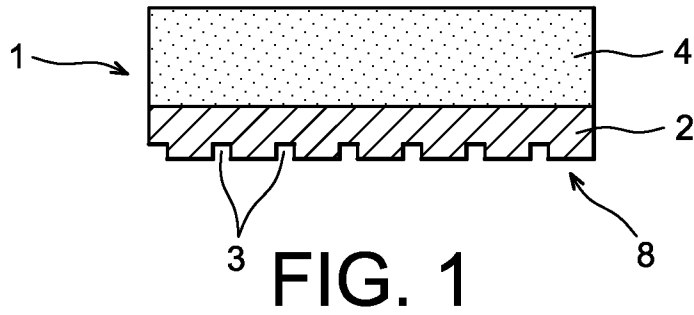


FIG. 1

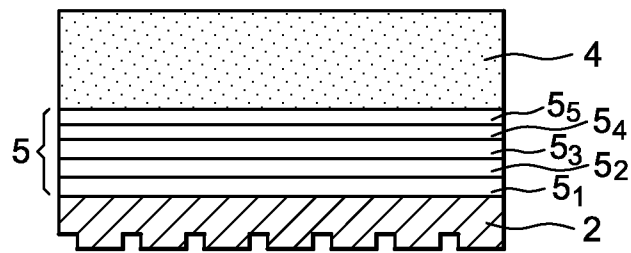


FIG. 2

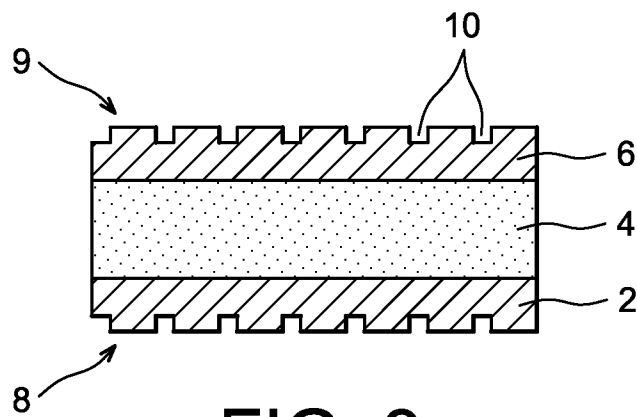


FIG. 3

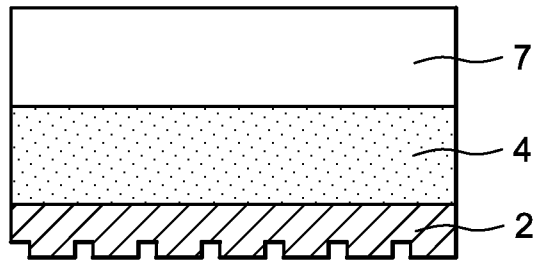


FIG. 4

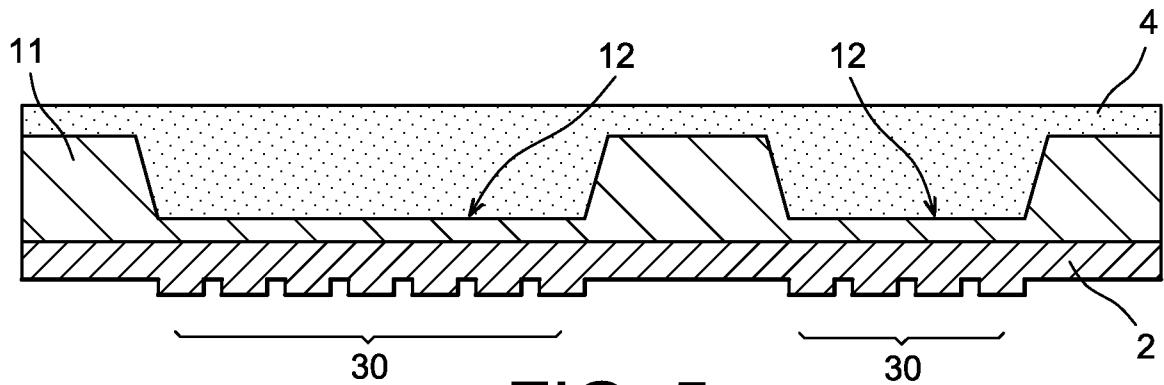


FIG. 5

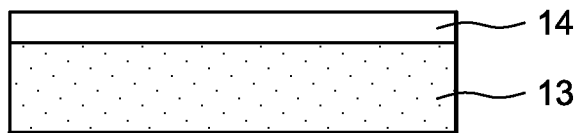


FIG. 6a

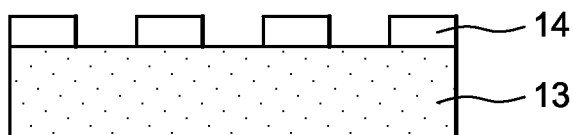


FIG. 6b

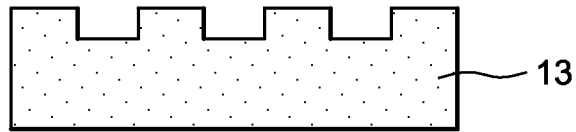


FIG. 6c

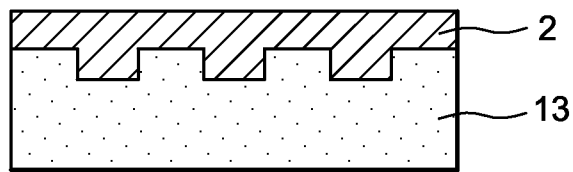


FIG. 6d

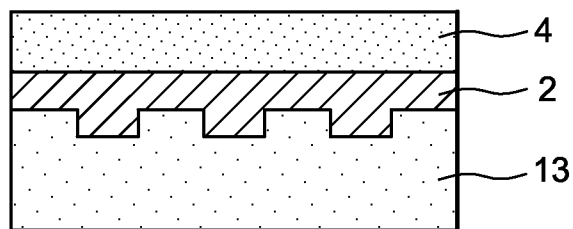


FIG. 6e

4 / 6

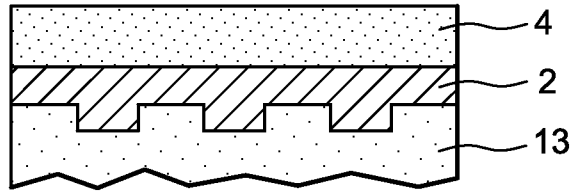


FIG. 6f

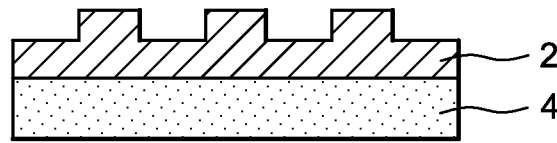


FIG. 6g

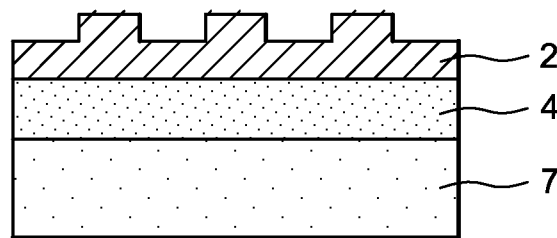


FIG. 6h

5 / 6

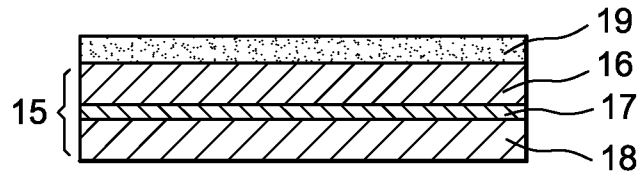


FIG. 7a

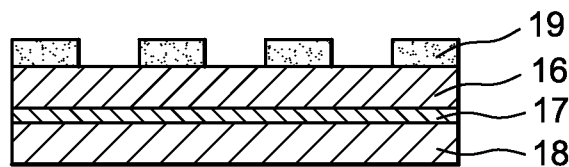


FIG. 7b

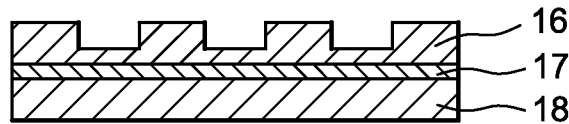


FIG. 7c

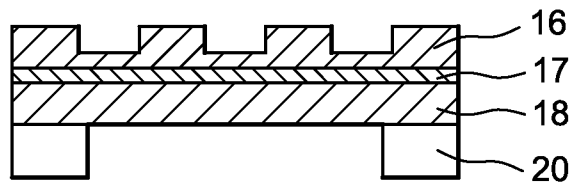


FIG. 7d

6 / 6

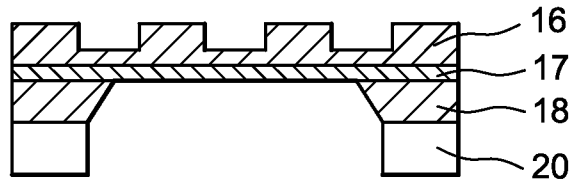


FIG. 7e

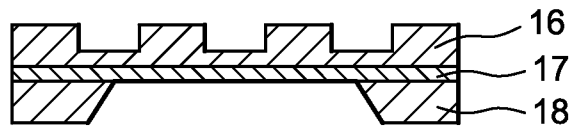


FIG. 7f

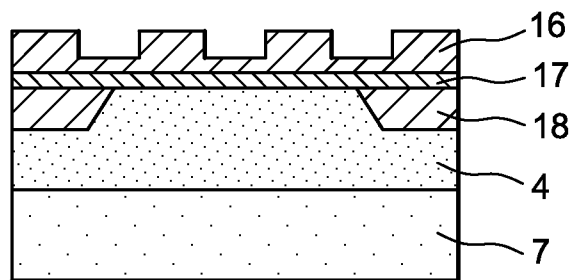


FIG. 7g