

(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
22 septembre 2011 (22.09.2011)

(10) Numéro de publication internationale
WO 2011/113704 A2

- (51) Classification internationale des brevets : **G03F 7/20** (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale : PCT/EP2011/053205
- (22) Date de dépôt international : 3 mars 2011 (03.03.2011)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
1001101 19 mars 2010 (19.03.2010) FR
1003481 31 août 2010 (31.08.2010) FR
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET AUX ENERGIES ALTERNATIVES** [FR/FR]; 25 rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **IMBERT, Jean-Louis** [FR/FR]; 20 route de Saint Nizier, F-38170 Seyssinet (FR). **VANNUFFEL, Cyril** [FR/FR]; 41 Route des Eaux Claires, F-38100 Grenoble (FR).
- (74) Mandataires : **GUERIN, Michel** et al.; Immeuble Visium, 22 avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil (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).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : PHOTOREPEATER FOR EXTREME-ULTRAVIOLET LITHOGRAPHY

(54) Titre : PHOTOREPETEUR POUR LA LITHOGRAPHIE EN EXTREME ULTRA-VIOLET

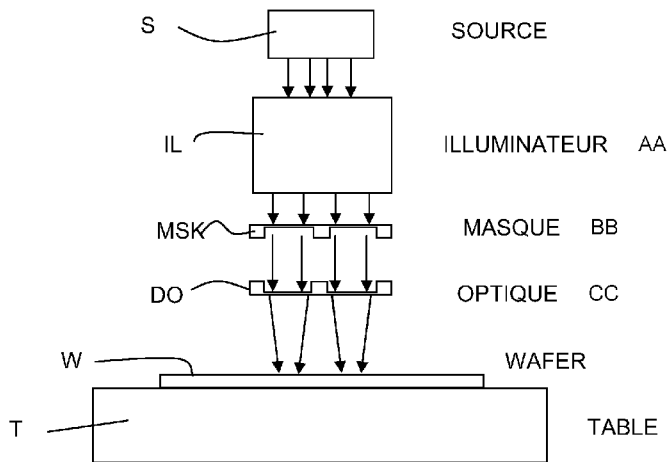


Fig. 3

AA ILLUMINATOR
BB MASK
CC OPTICAL ELEMENT

(57) Abstract : The invention relates to a photorepeater for the exposure of lithographic resists, especially in extreme ultraviolet. According to the invention, the photorepeater comprises an optical projection element for projecting an image defined by a mask, the optical element comprising a thick rigid frame having at least one aperture over which a thin membrane transparent to extreme ultraviolet is stretched, said membrane having a maximum thickness of 300 nanometers and bearing an etching pattern giving the thin membrane a diffractive optical function in transmission at the wavelength used by the photorepeater. The mask used is itself preferably made from a thick frame having one or more apertures covered by a thin transparent membrane bearing a thin film of a material opaque or partially opaque to extreme-ultraviolet radiation. This thin film is etched in a pattern defining the desired mask. The apertures of the optical projection element are placed facing those of the mask when the mask and the optical element are in place in the photorepeater.

(57) Abrégé : L'invention concerne un photorépéteur pour l'exposition

[Suite sur la page suivante]

WO 2011/113704 A2

**Publiée :**

- *sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport (règle 48.2.g)*

de résines lithographiques, notamment en extrême ultra-violet. Selon l'invention, le photorépéteur comporte une optique de projection image définie par un masque, l'optique comportant un cadre rigide épais ayant au moins une ouverture sur laquelle est tendue une membrane mince transparente en extrême ultraviolet d'une épaisseur maximale de 300 nanomètres portant un motif de gravures conférant à la membrane mince une fonction d'optique diffractive en transmission à la longueur d'onde utilisée par le photorépéteur. Le masque utilisé est lui-même de préférence réalisé à partir d'un cadre épais ayant une ou plusieurs ouvertures recouverte par une membrane mince transparente portant une couche mince d'un matériau opaque ou partiellement opaque au rayonnement en extrême ultra-violet. Cette couche mince est gravée selon un motif définissant le masque souhaité. Les ouvertures de l'optique de projection sont disposées en regard de celles du masque lorsque le masque et l'optique sont en place dans le photorépéteur.

PHOTOREPETEUR POUR LA LITHOGRAPHIE EN EXTREME ULTRA-VIOLET

L'invention concerne la photolithographie, et notamment la photolithographie aux très courtes longueurs d'onde. Elle concerne plus précisément un photorépéteur pour l'exposition de résines lithographiques en extrême ultra-violet. Par certains aspects, l'invention n'est cependant pas
5 limitée à l'extrême ultra-violet mais elle sera décrite à propos de l'extrême ultra-violet.

La photolithographie est utilisée pour la réalisation de microstructures électroniques, optiques, mécaniques, ou des microstructures combinant des fonctions électroniques et/ou optiques et/ou mécaniques. Elle
10 consiste à insoler par un rayonnement photonique, à travers un masque qui définit le motif souhaité sur une certaine surface, une couche de résine photosensible déposée sur un substrat (par exemple une tranche de silicium)
; après une exposition de la surface définie par le masque, on déplace le substrat et on expose une autre zone de même surface, et ainsi de suite
15 jusqu'à avoir exposé la totalité d'une surface désirée. Par exemple, le masque correspond à la surface d'une puce de circuit intégré sur un substrat qui servira à la fabrication collective de plusieurs puces ; la photorépétition
consiste alors à exposer successivement les surfaces correspondant aux puces individuelles. Le développement chimique qui suit l'insolation révèle
20 les motifs souhaités dans la résine. Le motif de résine ainsi gravé peut servir à plusieurs usages, le plus commun étant la gravure d'une couche sous-jacente (isolante ou conductrice ou semi-conductrice) pour définir dans cette
couche un motif identique à celui de la résine.

On cherche à obtenir des motifs extrêmement petits et précis et à
25 aligner très précisément des motifs gravés dans de multiples couches superposées. Typiquement, la dimension critique des motifs souhaités est aujourd'hui d'une fraction de micromètre et peut descendre à 20 nanomètres et en dessous. La longueur d'onde de la lumière utilisée dans l'opération de photolithographie limite la résolution ; plus elle est courte plus les motifs
30 peuvent être fins. La photolithographie en ultraviolet (utilisant aujourd'hui des longueurs d'onde descendant jusqu'à 193 nanomètres) permet de faire des

motifs plus fins qu'avec de la lumière visible mais pas aussi fins qu'on le voudrait.

On cherche aujourd'hui à descendre très largement au-dessous de ces longueurs d'onde et à travailler en extrême ultraviolet (EUV), à des
5 longueurs d'onde allant de 5 à 50 nanomètres, et notamment des longueurs d'onde entre 10 et 14 nanomètres telles que la longueur d'onde de 13,5 nanomètres obtenue par l'excitation d'un plasma de xénon, d'étain ou de lithium illuminé par un laser YAG ou CO₂ ou soumis à une décharge électrique.

10 Par ailleurs, on rappelle qu'un photorépéteur comprend généralement une source lumineuse à la longueur d'onde d'exposition désirée, un illuminateur qui sert à conformer le faisceau lumineux émis par la source, un masque qui définit le motif à projeter et qui module donc spatialement le faisceau lumineux pour exposer la couche de résine selon ce
15 motif, une optique de projection qui focalise ce faisceau sur une couche de résine portée par un substrat, et une table de support mobile pour le substrat, permettant de déplacer le substrat par rapport à l'optique de projection afin de projeter successivement l'image du masque sur différentes zones du substrat.

20 Mais, aux longueurs d'onde de l'extrême ultraviolet, les matériaux formant le substrat du masque (substrat sur lequel est gravée une couche de masquage) ne sont pas transparents et l'opération de photolithographie doit utiliser des masques fonctionnant en réflexion et non en transmission : le masque comporte des zones absorbantes et des zones réfléchissantes ;
25 dans les zones réfléchissantes, le masque réfléchit la lumière sur la résine à exposer, en y imprimant son image. Le trajet de la lumière entre le masque et la résine à exposer passe par d'autres réflecteurs dont les géométries sont conçues pour projeter une image du masque, réduite ou en grandeur réelle.

De plus, l'optique de projection placée entre le masque et le
30 substrat n'est pas une optique classique comme on en utilise par exemple avec de l'ultraviolet à 193 nanomètres. En effet, en extrême ultraviolet, non seulement les matériaux ont une très faible transparence, mais de plus les indices de réfraction sont si proches de 1 qu'on n'arriverait pas à faire les optiques convergentes qui sont nécessaires pour la formation de l'image du
35 masque sur la couche sensible. On utilise donc des optiques de formation

d'image fonctionnant en réflexion, donc entièrement constituées de miroirs successifs de courbures appropriées.

Les optiques qui fonctionnent en réflexion pour projeter l'image sur la résine ont un rendement très faible car il faut plusieurs réflecteurs et
5 chaque réflecteur a un rendement qui dépasse rarement 70% ; s'il y a 6 à 10 réflecteurs, la lumière transmise par l'optique de projection en réflexion représente seulement quelques pourcents de la lumière envoyée par la source.

De plus, indépendamment des inconvénients des optiques
10 fonctionnant en réflexion, les masques fonctionnant en réflexion présentent eux-mêmes des inconvénients intrinsèques : ils doivent être illuminés sous une incidence non nulle ; même si cette incidence est faible (5 à 7°), l'épaisseur de la couche de masquage produit un effet d'ombrage qui fait que le motif reproduit n'est pas identique au motif du masque. L'effet relatif de cet
15 ombrage est d'autant plus important que la couche de masquage est plus épaisse et que les motifs du masque sont plus petits.

Egalement, les masques fonctionnant en réflexion utilisent des miroirs de Bragg qui sont des superpositions de couches diélectriques minces alternées en grand nombre, avec des épaisseurs parfaitement
20 contrôlées en fonction de l'angle d'illumination non nul prévu. Or, la probabilité d'avoir des petits défauts n'est pas négligeable alors qu'on souhaite une absence totale de défauts. En cas de défaut, le masque ne peut pas être corrigé car il faudrait rajouter ponctuellement des dizaines de couches diélectriques pour reconstituer localement une zone réfléchissante.

25 Pour pallier ces difficultés de réalisation d'un photorépéteur fonctionnant en extrême ultraviolet, la présente invention propose d'abord d'utiliser dans le photorépéteur une optique de projection d'une image définie par un masque, l'optique étant constituée de la manière suivante : elle comporte un cadre rigide épais ayant au moins une ouverture sur laquelle est
30 tendue une membrane mince, au moins partiellement transparente en extrême ultraviolet, d'une épaisseur maximale de 500 nanomètres, portant un motif de gravures conférant à la membrane mince une fonction d'optique de projection diffractive en transmission à la longueur d'onde utilisée par le photorépéteur. La membrane mince est de préférence en silicium ; elle peut
35 être également en zirconium. Le motif gravé est de préférence gravé dans

une couche déposée sur la membrane. Il pourrait être aussi gravé directement dans une partie de l'épaisseur de la membrane.

On pourrait utiliser cette optique de projection en transmission en l'associant à un masque fonctionnant en réflexion, mais il est beaucoup plus
5 avantageux de l'associer à un masque fonctionnant en transmission, réalisé selon une technique semblable à celle de l'optique : le masque est alors un masque de photolithographie en extrême ultra-violet, fonctionnant en transmission, comportant un cadre rigide épais ayant au moins une ouverture sur laquelle est tendue une membrane mince transparente en extrême
10 ultraviolet (de préférence en silicium ou à la rigueur en zirconium), d'une épaisseur maximale de 500 nanomètres, portant une couche mince d'un matériau opaque ou partiellement opaque au rayonnement en extrême ultra-violet, cette couche mince étant gravée selon un motif définissant le masque souhaité dans une zone définie par l'ouverture sur laquelle est tendue la
15 membrane.

L'ouverture dans le cadre de l'optique de projection est disposée en regard de celle du masque lorsque le masque et l'optique sont en place dans le photorépéteur.

L'invention propose donc un procédé de lithographie en extrême
20 ultra-violet, utilisant un photorépéteur et un masque de lithographie, caractérisé en ce qu'on met en place dans le photorépéteur une optique de projection d'une image définie par un masque, l'optique comportant un cadre épais ayant au moins une ouverture sur laquelle est tendue une membrane mince transparente en extrême ultraviolet d'une épaisseur maximale de 500
25 nanomètres portant un motif de gravures conférant à la membrane mince une fonction d'optique de projection diffractive en transmission à la longueur d'onde utilisée par le photorépéteur, et on met en place un masque fonctionnant en transmission, comportant un cadre épais ayant au moins une ouverture sur laquelle est tendue une membrane mince transparente en
30 extrême ultraviolet, d'une épaisseur maximale de 300 nanomètres, portant une couche mince d'un matériau opaque ou partiellement opaque au rayonnement en extrême ultra-violet, cette couche mince étant gravée selon un motif définissant le masque souhaité dans une zone définie par l'ouverture sur laquelle est tendue la membrane, l'ouverture de l'optique de

projection étant disposée en regard de celle du masque lorsque le masque et l'optique sont en place dans le photorépéteur.

Le masque comprend de préférence un arrangement de plusieurs ouvertures régulièrement réparties, avec, au-dessus de chaque ouverture
5 respective, une membrane portant une couche opaque ou partiellement opaque à l'extrême ultra-violet, gravée selon un motif respectif, et l'optique de projection comprend un arrangement de plusieurs ouvertures régulièrement réparties, avec, au-dessus de chaque ouverture respective,
10 une membrane portant un motif de gravures conférant à la membrane mince une fonction d'optique de projection diffractive en transmission à la longueur d'onde utilisée par le photorépéteur, les ouvertures du masque étant disposées en regard d'ouvertures correspondantes de l'optique de projection lorsque le masque est placé dans le photorépéteur.

Les ouvertures sont de préférence arrangées en damier, c'est-à-dire
15 disposées aux croisements d'un réseau régulier de lignes et de colonnes.

La membrane mince est de préférence en silicium monocristallin. Le cadre peut être en silicium ou en silice, verre, quartz, etc., aussi bien pour le masque que pour l'optique de projection diffractive.

20 Le procédé de lithographie comporte de préférence l'exposition successive d'une couche photosensible à travers des masques différents, chaque masque comprenant un cadre pourvu de plusieurs ouvertures sur chacune desquelles est formée une membrane mince portant une couche mince gravée, les formes et/ou les positions des ouvertures par rapport au
25 cadre étant différentes d'un masque à l'autre pour permettre l'exposition complète de la surface de la couche photosensible, y compris dans les zones masquées par les cadres des différents masques autour de leurs ouvertures, et à chaque masque est associé une optique de projection ayant une répartition d'ouvertures correspondant à la répartition d'ouvertures du
30 masque respectif pour que chaque ouverture du masque soit en regard d'une ouverture respective de l'optique de projection associée.

On utilisera donc, pour l'exposition d'une seule couche photosensible, un jeu de plusieurs masques et de plusieurs optiques associées, dans lequel chaque masque comporte un arrangement
35 d'ouvertures (de préférence en damier) dont la forme et/ou la position sur le

cadre différent d'un masque à un autre, les motifs gravés au-dessus des ouvertures des différents masques se complétant les uns les autres pour permettre l'exposition sans zone morte d'un motif global sur une même couche photosensible par exposition de cette couche aux extrêmes ultra-
5 violets successivement à travers chacun des masques du jeu, et en passant à chaque fois par les optiques de projection associées.

En pratique, on utilisera un jeu de trois ou quatre masques. L'image qu'on veut projeter est subdivisée en portions et chaque masque comporte un nombre d'ouvertures qui dépend de cette subdivision ; chaque
10 ouverture correspond à une portion d'image et la membrane située au-dessus de cette ouverture porte le motif de masquage correspondant à cette portion. Les différentes portions d'images correspondent chacune à une ouverture et au motif de masquage correspondant de l'un des masques. La subdivision de l'image dépend des dimensions maximales qu'on veut donner
15 à la membrane tendue sur une ouverture pour qu'elle ait une planéité et une solidité suffisantes.

L'optique de projection peut être une optique réductrice, par exemple dans un rapport de 4 à 1.

De manière générale, indépendamment de la longueur d'onde
20 d'utilisation, l'invention concerne un photorépéteur destiné à recevoir un masque devant une optique de projection pour projeter une image définie par un masque sur une surface, l'optique de projection étant composée de plusieurs optiques partielles montées sur un même support plan et capables de projeter simultanément chacune une portion respective de l'image,
25 chaque optique partielle pouvant être commandée indépendamment des autres optiques partielles pour ajuster au moins un paramètre de la projection de la portion d'image correspondant à cette optique partielle. Les paramètres de la projection peuvent être la focalisation, le grandissement, la rotation dans le plan, le tilt du plan, ou même la position précise d'une portion
30 d'image dans le plan. L'optique partielle est de préférence diffractive comme indiqué précédemment, notamment lorsque la longueur d'onde est l'extrême ultra-violet. Chaque optique partielle peut elle-même être composée d'un groupe d'optiques élémentaires correspondant à une sous-portion d'image, les optiques élémentaires d'un groupe étant commandées simultanément.

En réglant individuellement les paramètres de la projection des optiques partielles, on peut effectuer une mise au point correcte sur des surfaces plus importantes que si le réglage était fait globalement pour toute l'image. Ceci est important lorsque le champ exposé a plusieurs centimètres de côté et lorsque les motifs à exposer sont très petits, notamment lorsque leur dimension critique descend à 20 nm et au-dessous.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée qui suit et qui est faite en référence aux dessins annexés dans lesquels :

- la figure 1 représente de manière simplifiée la structure générale d'un photorépéteur ;
- la figure 2 représente le photorépéteur selon l'invention ;
- la figure 3 représente un photorépéteur dans lequel le masque et l'optique de formation d'image ont tous deux plusieurs ouvertures en regard les unes des autres ;
- la figure 4 représente schématiquement un masque à une ouverture ;
- la figure 5 représente schématiquement une optique diffractive à une ouverture ;
- la figure 6 représente une structure de masque à plusieurs ouvertures ;
- la figure 7 représente une coupe verticale (retournée) de la figure 6 ;
- la figure 8 représente une optique diffractive à plusieurs ouvertures utilisable avec le masque des figure 6 et 7 ;
- la figure 9 représente une coupe verticale de la figure 8 ;
- la figure 10 représente en 10A une image complète à projeter sur une couche photosensible et en 10B à 10E un jeu de quatre masques permettant de projeter la totalité de cette image par expositions successives à travers chacun des masques ;
- la figure 11 représente en 11A un masque de la figure 10 et en 11B à 11E un jeu de quatre optiques de projection diffractives associées chacune respectivement à l'un des quatre masques de la figure 10 ;

- la figure 12 représente une configuration d'optiques partielles fixes et d'optiques partielles ajustables, ces dernières étant groupées en blocs de neuf optiques élémentaires ;

- la figure 13 représente un schéma d'une optique de projection groupant plusieurs optiques partielles sur un même support rigide par l'intermédiaires de cales piézoélectriques servant à l'ajustement individuel des optiques partielles.

La structure simplifiée d'un photorépéteur est représentée à la figure 1. Cette structure est adaptée pour la photolithographie en ultraviolet, mais mal adaptée, comme on l'a expliqué précédemment, à l'extrême ultraviolet.

Le photorépéteur comprend une source d'illumination S, pour exposer une résine photosensible déposée à la surface d'un substrat plan W. Ici, le substrat est par exemple une tranche ou "wafer" de silicium destinée à la fabrication d'un circuit intégré de microélectronique.

Le faisceau lumineux produit par la source passe dans un illuminateur IL servant à conformer le faisceau, puis dans un masque en transmission M qui définit le motif d'exposition désiré pour la résine, et enfin dans une optique de projection ou optique de formation d'image OF qui forme une image du masque dans la résine, éventuellement avec un facteur de réduction (souvent une division par quatre).

Le substrat W est posé sur une table T qui est déplaçable par rapport aux éléments du photorépéteur proprement dit, c'est-à-dire la source, l'illuminateur et l'optique. Le masque est en général installé de manière amovible dans un tiroir qu'on peut venir mettre entre l'illuminateur et l'optique de projection.

La surface de résine exposée par l'optique OF occupe une partie seulement du substrat W. Pour exposer les autres parties de la surface de résine on déplace la table, donc le substrat, pas-à-pas sous l'optique de projection, d'où le nom de photorépéteur donné à cet appareil. Les déplacements pas-à-pas de la table sont contrôlés avec une très grande précision.

Cette structure de photorépéteur se complique beaucoup et présente de nombreux inconvénients lorsqu'on travaille en extrême

ultraviolet et notamment avec une longueur d'onde de 13,5 nanomètres. Cette complication résulte de ce qu'on est obligé d'utiliser des optiques en réflexion et des masques en réflexion.

Selon la présente invention, on va réaliser une optique de
5 projection diffractive par un motif gravé sur une membrane mince très fine (moins de 500 nanomètres d'épaisseur) tendue sur une ouverture d'un cadre rigide épais. La membrane est de préférence en silicium ; elle a une bonne transparence à l'extrême ultraviolet en raison de sa très faible épaisseur.

On rappelle que des réseaux diffractants gravés sur des surfaces
10 planes permettent d'assurer toute une variété de fonctions optiques semblables à celles qu'on utilise dans des systèmes optiques classiques réfractifs. En particulier, on sait faire des optiques de projection avec ou sans grandissement. La lentille de Fresnel à réseaux concentriques gravés, d'espacements décroissants du centre vers la périphérie, en est un exemple
15 typique.

Par conséquent on remplace selon l'invention l'optique réfractive classique OF, inutilisable dans le cas de l'extrême ultraviolet, par une optique diffractive en transmission formée par un réseau gravé sur une membrane extrêmement fine et transparente à l'extrême ultraviolet.

20 Le masque sera de préférence réalisé aussi de la même manière, c'est-à-dire sur une membrane tendue au-dessus d'une ouverture formée dans un cadre rigide. L'ouverture du cadre de l'optique est alors placée exactement en regard de l'ouverture du cadre du masque lorsque l'optique et le masque sont en place dans le photorépéteur.

25 La figure 2 représente de manière très simplifiée la structure générale de photorépéteur qui en résulte. Elle comprend les mêmes éléments qu'à la figure 1 mais le masque classique M qui ne pourrait pas fonctionner en extrême ultraviolet est remplacé par un masque MSK à membrane très mince, et l'optique réfractive en transmission OF est
30 remplacée par une optique diffractive DO à membrane très mince qui a pour fonction, comme l'optique réfractive, la formation d'une image du masque à l'intérieur de la résine à insoler.

Pour assurer la lisibilité de la figure 2, les dimensions relatives ne sont pas respectées. Par exemple, dans la pratique, la distance entre le
35 masque MSK et l'optique diffractive DO peut être de quelques millimètres et

la distance entre l'optique DO et le substrat W peut être de quelques micromètres.

Sur la figure 2, le masque et l'optique sont représentés comme ayant chacun un cadre de renfort avec une seule ouverture au-dessus de laquelle est tendue une membrane très mince, et l'ouverture du masque est exactement en regard de l'ouverture de l'optique. Mais en pratique de telles membranes minces sont très difficiles à réaliser lorsque l'ouverture dépasse quelques millimètres ou tout au plus un centimètre de côté, alors qu'on peut avoir besoin de masques ayant des dimensions plus grande qu'un centimètre de côté. C'est pourquoi on adoptera plutôt une configuration de masques et d'optiques ayant chacun un cadre à plusieurs ouvertures de dimensions limitées, comme représenté à la figure 3, et les ouvertures du masque sont exactement en regard des ouvertures de l'optique.

La figure 4 représente un masque en transmission MSK utilisé dans la présente invention, et la figure 5 représente une optique de projection diffractive DO, fonctionnant également en transmission.

Le masque de photolithographie en extrême ultra-violet comprend un cadre de maintien rigide 10 ayant une ouverture 12 complètement entourée par le cadre, et une membrane de silicium 20 extrêmement mince, d'une épaisseur inférieure à 500 nanomètres, qui est tendue sur l'ouverture et qui recouvre entièrement l'ouverture. Pour la commodité, on a représenté le masque vu de dessous, c'est-à-dire que la membrane tendue au-dessus de l'ouverture est placée au-dessous sur la figure 4. La membrane est solidaire du cadre sur tout le pourtour de l'ouverture ; elle est plane. Le degré de planéité de la membrane est déterminé par les forces de tension qui s'exercent dans le plan de la membrane, et ces forces sont liées au procédé de fabrication du masque. La membrane pourrait également être en zirconium, mais le silicium est préféré, à la fois pour sa meilleure transparence et pour un meilleur contrôle du comportement par rapport au cadre rigide.

L'épaisseur de la membrane devra être en pratique d'au moins 30 nanomètres pour pouvoir être fabriquée industriellement avec une résistance mécanique suffisante. L'épaisseur préférée est comprise entre 50 et 150 nanomètres, ce qui offre un bon compromis entre la résistance de la membrane et la transparence au rayonnement EUV.

Le silicium de la membrane est préférentiellement du silicium monocristallin. Le cadre est de préférence essentiellement en silicium (monocristallin), en particulier pour minimiser les contraintes thermiques qui peuvent s'exercer entre le cadre et la membrane (autres que les
5 précontraintes volontairement introduites à la fabrication).

La membrane de silicium est transparente à l'extrême ultraviolet en raison de sa très faible épaisseur. Le coefficient de transmission de lumière peut être compris entre 30 et 90% en fonction de l'épaisseur choisie et un compromis peut être trouvé pour avoir une transmission suffisante,
10 donc une épaisseur pas trop forte, et une résistance aux contraintes suffisantes (donc une épaisseur suffisante).

Une fine couche d'oxyde de silicium, non représentée, peut être interposée entre le cadre de silicium et la membrane. Cette couche sert lors de la fabrication du masque comme on le verra plus loin.

La membrane de silicium 20 porte une couche de masquage gravée selon un motif de masquage choisi. Si on considère que la membrane de silicium comporte une face interne 20a (située à l'intérieur de l'ouverture 12) et une face externe 20b qui est la face opposée, la couche de masquage est de préférence formée sur la face externe 20b de la membrane. On a
15 représenté symboliquement sur la figure 4 un motif de masquage MM qui est déposé sur la face externe 20b et qui est donc vu en transparence à travers la membrane 20.

La couche de masquage peut être métallique, notamment en tungstène. Elle peut aussi être en d'autres matériaux, par exemple du nitrure de titane, pourvu qu'elle soit opaque ou partiellement opaque au rayonnement en extrême ultraviolet même à des épaisseurs très faibles (en
25 général inférieures à 1 micromètre). Si elle est partiellement opaque, elle est alors de préférence également déphasante ; le molybdène est un matériau qui est partiellement opaque et déphasant.

Le motif de masquage MM a en principe une échelle plus grande que le motif qui sera projeté sur une couche photosensible lors de l'utilisation du masque mais ce n'est pas obligatoire. Par exemple, le masque est fabriqué à une échelle quatre fois plus grande et le motif de masquage est gravé sur la membrane 20 avec un procédé de photolithographie en
30 ultraviolet ou par un faisceau d'électrons. Ces motifs, lorsqu'ils sont projetés

à travers une optique de réduction par quatre produiront des motifs très petits illuminés en extrême ultraviolet. La dimension de motif recherchée peut descendre à environ 20 nanomètres et même en dessous.

L'optique de projection diffractive est réalisée selon le même
5 principe que le masque avec un cadre rigide 10', une ouverture 12', et une
membrane mince (épaisseur inférieure à 500 nanomètres) de silicium 20'
tendue sur l'ouverture. Un exemple a été schématisé sur la figure 5 sous
forme d'une lentille de Fresnel, avec un motif de diffraction MD en forme de
10 cercles concentriques d'espacements décroissants du centre vers les bords.
D'autres motifs de diffraction pourraient être utilisés pour accomplir la
fonction désirée qui est essentiellement une fonction de formation de l'image
du masque sur le substrat à exposer, de préférence avec réduction d'échelle
(par exemple de 1/4). Le motif MD est gravé sur une couche déposée sur la
15 membrane ou même sur la membrane elle-même (à condition que cela ne la
fragilise pas excessivement). Le motif peut être un motif de variations
d'indice dans une couche transparente ou un motif opaque ou partiellement
opaque réalisé dans une couche qui peut être de même nature que la
couche de masquage du masque, c'est-à-dire par exemple du tungstène ou
du molybdène ou du nitrure de tantale.

20 La membrane qui porte l'optique de projection diffractive peut être
plane (membrane fortement tendue sur le cadre), mais elle peut aussi être
courbe. Une courbure peut être obtenue en limitant la tension de la
membrane sur le cadre et ceci est déterminé au moment de la fabrication. Le
motif de gravure tient compte de la courbure de la membrane pour aboutir à
25 la fonction de formation d'image désirée.

Le motif de gravure peut être calculé pour que l'optique diffractive
accomplisse non seulement sa fonction de formation d'image à l'intérieur de
la résine mais aussi une fonction éventuelle de correction d'aberrations. On
peut également prévoir que l'optique de projection diffractive comprend non
30 pas une seule membrane mais deux membranes superposées (accolées ou
non), l'une portant un motif permettant la formation d'image (par exemple des
cercles concentriques d'espacements décroissants vers la périphérie), l'autre
un motif destiné à corriger des aberrations.

Etant donné les contraintes de planéité et de résistance de la
35 membrane qu'il faut respecter pour réaliser un masque et une optique de

diffraction utilisables, il peut être nécessaire de limiter les dimensions latérales de la membrane portant le motif gravé. A titre d'exemple, on limite toutes les dimensions latérales de la membrane à un maximum de 1 centimètre alors que le motif de masquage peut être plus grand. Dans ce
5 dernier cas, on utilise de préférence un cadre de silicium pourvu de plusieurs ouvertures et non d'une seule ouverture, aussi bien pour le masque que pour l'optique de projection diffractive. Une portion de membrane sera tendue au-dessus de chaque ouverture du masque et portera une portion correspondante d'un motif de masquage à projeter sur une couche
10 photosensible. De même, une portion de membrane sera tendue au-dessus de chaque ouverture de l'optique diffractive et portera un motif de diffraction individuel (tous les motifs de diffraction sont en principe identiques sauf si on doit corriger des aberrations liées à la position de l'ouverture).

La figure 6 montre une telle réalisation, dans laquelle le masque
15 comporte quatre ouvertures 121, 122, 123, 124, et quatre motifs de masquage correspondants, a priori différents les uns des autres, MM1, MM2, MM3, MM4.

La figure 7 représente une coupe verticale du masque de la figure 6. La vue de la figure 7 est inversée par rapport à la figure 6, la membrane
20 20 étant au-dessus des ouvertures du cadre (face externe 20b au-dessus, face interne 20a au-dessous).

Les ouvertures sont entièrement entourées par le cadre de silicium pour que la membrane fixée sur ce cadre soit bien maintenue tendue sur l'ouverture ; au moins une dimension latérale de la membrane (et de
25 préférence deux dimensions latérales) est limitée à une largeur maximale (par exemple 1cm).

La figure 8 représente l'optique diffractive associée au masque de la figure 6. L'optique comprend quatre ouvertures 121', 122', 123', 124' disposées de telle sorte qu'elles soient en regard des ouvertures du masque
30 lorsque le masque et l'optique sont placés dans le photorépéteur. Chaque ouverture est recouverte par une membrane respective portant un motif de diffraction MD1 à MD4. En effet, chaque portion de masque (MM1 à MM4) module spatialement une portion de faisceau lumineux et chaque ouverture de l'optique de projection reçoit la portion de faisceau correspondante pour
35 focaliser l'image respective sur une zone de couche photosensible à photo-

lithographier, portée par le substrat. Les motifs de diffraction MD1 à MD4 sont en principe tous identiques.

Les ouvertures représentées sur la figure 8 sont rectangulaires ou carrées, et de dimensions identiques à celles du masque, mais elles
5 pourraient être circulaires ou avoir une autre forme ou d'autres dimensions, pourvu qu'elles soient réparties comme celles du masque, c'est-à-dire que chaque ouverture de l'optique soit en regard d'une ouverture respective du masque associé.

La figure 9 représente une coupe verticale de l'optique diffractive
10 de la figure 8, dans un exemple où les motifs de diffraction gravés MD1, MD2 sont formés dans une couche déposée sur la face externe 20'b de la membrane 20'.

Pour réaliser le masque et l'optique, on peut partir d'un substrat de silicium recouvert d'une couche d'arrêt de gravure en oxyde de silicium, elle-
15 même recouverte d'une couche de silicium monocristallin qui constituera ultérieurement la membrane du masque. On dépose sur le silicium, puis on grave, une couche en tungstène ou en nitrure de tantale ou un autre matériau, pour définir les motifs de masquage ou de diffraction désirés, en tenant compte bien entendu de la position future des ouvertures qu'il faudra
20 former ultérieurement dans le cadre de silicium. On dépose ensuite sur les deux faces du substrat une couche de résine de masquage pour protéger le silicium et on photograde cette résine sur la face arrière du substrat (face opposée à celle qui porte les motifs de masquage ou de diffraction) pour définir des ouvertures selon un motif correspondant aux ouvertures qu'il faut
25 former dans le cadre du masque ou de l'optique. On attaque enfin le silicium du substrat sur toute son épaisseur là où il n'est plus protégé par la résine. L'attaque se termine sur la couche d'arrêt de gravure que l'on enlève ensuite. D'autres procédés de fabrication de masques peuvent être envisagés, par exemple un procédé par assemblage de deux substrats, l'un comprenant le
30 cadre du masque avec ses ouvertures, et l'autre (par exemple un substrat SOI, silicium sur isolant) comprenant le matériau de la membrane. L'assemblage est fait en collant la face qui porte le matériau de la membrane sur le cadre de silicium ; pendant l'assemblage, les températures des deux substrats sont de préférence différentes pour engendrer une contrainte contrôlée (si on le désire) ; après l'assemblage, on élimine le deuxième
35

substrat et sa couche d'arrêt de gravure en ne conservant que la membrane de silicium soudée au premier substrat.

Alternativement, le dépôt et la gravure du masque peuvent être effectués après la formation de la membrane plutôt qu'avant. En ce qui
5 concerne l'optique de diffraction, la gravure peut être faite par faisceau électronique, plutôt que par photolithographie à travers un masque, pour atteindre une résolution plus élevée.

Pour mettre en œuvre le procédé de photorépétition lorsque le masque et l'optique de projection associée comportent plusieurs ouvertures
10 chacun, les ouvertures étant chacune plus petites que ce qu'il faudrait pour exposer un motif complet, on procède de la manière suivante : on utilise successivement plusieurs masques (en pratique 3 ou 4 masques) comportant chacun plusieurs ouvertures, les ouvertures des différents masques ayant des formes et/ou des positions différentes, telles que les
15 ouvertures de l'ensemble du jeu de masques permettent d'exposer toute la surface de la couche photosensible (par exemple toute la surface d'une puce de microélectronique de 2 cm x 2cm), y compris dans les zones masquées par le cadre de silicium qui entoure les ouvertures des différents masques. On associe alors à chaque masque une optique de projection diffractive
20 respectivement dont les ouvertures sont conçues à chaque fois pour venir en regard des ouvertures du masque associé.

Le choix des formes et positions d'ouvertures des différents masques dépend des dimensions maximales des ouvertures et de la largeur minimale de cadre qu'on veut conserver tout autour de chaque ouverture. Il
25 faut au moins trois masques pour exposer toute la surface sans zone morte, quelle que soit la forme des ouvertures. Il en faut quatre si on veut en outre que les ouvertures soient carrées ou rectangulaires et distribuées en damier, ce qui est la configuration la plus simple.

La figure 10 représente en 10A une image (symbolique) à projeter,
30 qu'on a subdivisée à titre d'exemple en portions de sorte que chaque portion peut être projetée à travers une membrane de masquage dont la dimension est industriellement réalisable. A titre d'exemple, on considère que la dimension industriellement réalisable est de 1 cm de côté sur tous les côtés, que le facteur de réduction dans la projection est égal à 4 (donc une
35 projection sur une surface de 2,5 millimètres de côté), et que la surface totale

à exposer est de 2cm par 2cm, soit 8 x 8 fois la surface exposée à travers une seule membrane. L'image est donc subdivisée en N x N portions, où N est ici égal à 8. Pour imprimer ce motif sur une couche photosensible, on va utiliser un jeu de quatre masques comportant chacun un damier de (N x N)/4
5 ouvertures qui ont toutes la même forme et les mêmes dimensions mais qui sont disposées à des endroits différents sur les différents masques. Les dimensions extérieures des masques sont toutes identiques.

Les quatre masques sont représentés en 10B, 10C, 10D, et 10E et sont désignés par MSK1 à MSK4. On a représenté les masques avec leur
10 cadre 10 en gris, et les ouvertures laissent apercevoir la portion de masque qu'elles doivent chacune recevoir et qui correspond à une portion respective parmi les N x N portions d'image de la figure 10A. On voit que si on projette l'image de la figure 10A sur une couche photosensible à travers le premier masque, un quart des N x N portions d'image sera projeté sur la couche, la
15 couche n'étant pas illuminée là où elle est masquée par le cadre de silicium qui entoure les ouvertures. Mais si on expose la couche successivement à travers chacun des masques, toute l'image sera finalement projetée sur la couche. Celle-ci sera développée chimiquement après les quatre expositions. L'exposition se fait par photorépétition, c'est-à-dire que pour
20 chaque masque on effectue plusieurs étapes de décalage de la table portant le substrat à exposer.

Dans l'exemple représenté à la figure 10, on a considéré que la largeur de cadre qui entoure chaque ouverture est égale à la largeur de l'ouverture, de sorte que les ouvertures des quatre masques sont toutes
25 identiques, mais cette solution n'est pas obligatoire. Egalement, on a considéré que les ouvertures étaient carrées, mais elles pourraient être rectangulaires.

La solution consistant à utiliser un jeu de quatre masques est la plus simple. Les masques comportent alors $P = N^2/4$ ouvertures identiques
30 entre elles et identiques d'un masque à l'autre mais à des positions différentes. Mais on peut réduire le nombre de masques à trois en adoptant d'autres configurations d'ouvertures qui permettent de couvrir en trois étapes toute la surface à exposer.

La superposition des trois ou quatre masques couvre la totalité de
35 l'image à projeter ; on peut envisager qu'il y ait un léger recouvrement des

ouvertures et une très légère superposition des motifs de masquage correspondants, pour éviter des défauts aux frontières.

Un masque destiné à former une image de 2cm par 2cm avec un facteur de réduction de 4 peut être formé d'un cadre d'environ 10 cm de côté, usiné dans une tranche de silicium d'au moins 6 pouces de diamètre (environ 160 millimètres).

La figure 11 représente les optiques diffractives respectives DO1 à D04 qui seront associées respectivement aux masques MSK1 à MSK4, c'est-à-dire qui auront des ouvertures respectivement en regard des ouvertures de leur masque associé. Le masque MSK1 a été à nouveau représenté sur la figure 11 pour montrer que l'optique diffractive DO1 a des ouvertures en regard des ouvertures du masque MSK1. Les autres optiques diffractives DO2, DO3, DO4, ont des ouvertures décalées par rapport aux ouvertures de l'optique DO1 de même que les masques associés MSK2, MSK3, MSK4 respectivement ont des ouvertures décalées par rapport au masque MSK1.

Sur la figure 11, on a représenté des ouvertures circulaires pour les optiques diffractives alors que les ouvertures du masque sont carrées. L'important est la position des ouvertures et non leur forme.

Le photorépéteur peut comporter une optique fixe, ou une optique mobile, ou encore un bloc masque/optique mobile.

a. optique fixe :

On a besoin de trois ou quatre optiques différentes correspondant chacune à une configuration d'ouvertures de masque respective. Le bloc d'optique fixe peut alors comprendre toutes ces optiques juxtaposées, avec un chargeur de masque individuel pour chacune d'elles. Un déflecteur permet de répartir la source sur les différents masques si sa puissance est suffisante, ou encore de diriger la totalité de l'énergie de la source successivement sur chaque masque ; mais on peut aussi prévoir plusieurs sources associées chacune à une des optiques individuelles juxtaposées. Le substrat à insoler est déplacé sous chaque masque, l'alignement se faisant par les systèmes habituels prévus sur les photorépéteurs.

b. optique mobile :

La source est fixe. Le photorépéteur comprend un chargeur de masque et un chargeur d'optique.

Ces deux chargeurs peuvent être semblables puisque l'optique est semblable au masque ; mais on peut alternativement prévoir que le chargeur
5 d'optique est remplacé par un barillet portant trois ou quatre optiques qui peuvent être amenées sélectivement devant le masque pour une opération d'insolation.

Le substrat est à chaque fois mis en place sous l'ensemble masque/optique puis il est aligné finement, après quoi le masque suivant et
10 l'optique correspondante sont chargés et alignés et le substrat est aligné au-dessous.

c. bloc mobile masque/optique :

Chaque masque peut être associé solidairement à une optique de
15 configuration correspondante, les optiques pouvant être dupliquées facilement. L'ensemble solidaire masque+optique peut être traité comme un masque et mis en place dans le photorépéteur par un chargeur de masque.

La source est fixe. L'alignement du substrat sous l'optique est fait d'une manière classique.

20

Plus généralement, on propose un photorépéteur destiné à recevoir un masque devant une optique de projection pour projeter une image sur une surface, l'optique de projection étant composée de plusieurs optiques partielles montées sur un même support plan et capables de
25 projeter simultanément chacune une portion respective de l'image. Chaque optique partielle peut être commandée indépendamment des autres optiques pour ajuster au moins un paramètre de la projection de la portion d'image correspondant à cette optique. Les paramètres de la projection peuvent être la focalisation, le grandissement, la rotation dans le plan, le tilt du plan, ou même la position précise d'une portion d'image dans le plan.
30 L'optique est de préférence diffractive comme indiqué précédemment, notamment lorsque la longueur d'onde est l'extrême ultra-violet. Chaque optique partielle peut elle-même être composée d'un groupe d'optiques élémentaires correspondant à une sous-portion d'image, les optiques
35 élémentaires d'un groupe étant commandées simultanément.

L'image est formée par plusieurs images partielles dont la juxtaposition reconstitue l'image globale, mais les images partielles ou les groupes d'images partielles peuvent être ajustées individuellement par action sur les optiques partielles (qui peuvent être des groupes d'optiques élémentaires). A chaque optique élémentaire est associée une portion de masque correspondante.

Cette méthode est particulièrement bien adaptée aux optiques diffractives gravées sur membrane mince, mais elle peut aussi être étendue à tout type d'optique.

On peut prévoir que les différentes optiques ou groupes d'optiques élémentaires sont assemblé(e)s sur des cales à commande piézoélectrique pilotées indépendamment les unes des autres. L'ensemble est monté sur un support rigide. Le support rigide, d'épaisseur adaptée à la planéité recherchée, est de préférence réalisé en matériau à faible coefficient de dilatation (typiquement : matériaux connus sous l'appellation zerodur ou cervit), mais les défauts de planéité peuvent être corrigés par l'action sur les cales.

On peut prévoir par exemple N cales individuelles pour commander une optique partielle ou un groupe d'optiques élémentaires formant une optique partielle. La commande simultanée des N cales d'un groupe permet d'agir sur la position de l'optique par rapport au plan de projection de l'image, donc sur la focalisation. La commande individuelle de chacune des N cales permet d'agir sur l'inclinaison, la rotation, le grandissement de l'image individuelle. Il s'agit bien sûr dans ce cas de corrections fines des paramètres de l'optique, le déplacement par effet piézoélectrique étant d'amplitude très limitée. Des systèmes autres que piézoélectriques (bobines électromagnétiques, capacités, etc.) permettent des déplacements plus importants pour des corrections plus importantes.

Dans un exemple, on peut prévoir une matrice d'optiques partielles individuelles agencées en N lignes et P colonnes, avec des lignes et colonnes d'optiques élémentaires fixes (non commandables individuellement) et des blocs de plusieurs optiques élémentaires solidarisées ensemble pour former une optique partielle commandée individuellement.

A titre d'exemple, on a représenté sur la figure 12 une matrice de 7x7 optiques élémentaires qui peut avoir une ligne centrale d'optiques fixes OL, une colonne centrale d'optiques fixes OC, et quatre blocs OB1 à OB4 ayant chacun neuf optiques élémentaires solidarisées sur un support rigide associé au bloc ; les blocs de neuf optiques sont commandables individuellement par des cales piézoélectriques.

Le contrôle de la focalisation est d'abord fait globalement par un système d'ajustement classique qui agit sur l'ensemble du support portant les optiques. Il peut se faire à travers les optiques elles-mêmes. L'ajustement fin des paramètres des optiques ou blocs d'optiques peut se faire a posteriori après examen de plaquettes d'essai, pour corriger des défauts d'image par action sur chacune des blocs. Les défauts de l'image peuvent provenir soit de défauts du système de projection, soit de défauts de planéité de la surface de projection. L'action sur les optiques individuellement réglables permet de corriger ces défauts. La figure 13 donne un exemple de montage d'optiques individuelles, ajustables séparément les unes des autres, sur une support rigide 200 pourvu d'évidements 210 pour laisser passer la lumière ; les optiques 220, constituées ici par des membranes minces et leur cadre périphérique, sont placées devant les évidements et montées sur des cales 230 placées sur le support rigide au bord des évidements.

Les cales peuvent avoir des formes quelconques et être réalisées en une ou plusieurs parties suivant les mouvements souhaités.

Dans le cas de l'extrême ultraviolet, les distances entre l'optique et la surface de projection sont de l'ordre du millimètre alors que les distances entre le masque et l'optique est de l'ordre du centimètre. Les mouvements de réglage des optiques individuelles ou des blocs d'optiques sont de l'ordre du micromètre, ce qui est possible avec des cales piézoélectriques.

REVENDEICATIONS

1. Photorépéteur pour la lithographie en extrême ultraviolet caractérisé en ce qu'il comporte une optique de projection d'une image définie par un masque, l'optique comportant un cadre rigide épais ayant au moins une ouverture sur laquelle est tendue une membrane mince
5 transparente en extrême ultraviolet d'une épaisseur maximale de 500 nanomètres portant un motif de gravures conférant à la membrane mince une fonction d'optique de projection diffractive en transmission à la longueur d'onde utilisée par le photorépéteur.
- 10 2. Photorépéteur selon la revendication 1, caractérisé en ce que la membrane mince est en silicium monocristallin.
3. Photorépéteur selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que le cadre rigide épais est en silicium ou en silice, ou en verre, ou en
15 quartz.
4. Photorépéteur selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que le motif de gravures est formé dans une couche opaque ou partiellement opaque au rayonnement extrême ultraviolet, déposée sur la
20 membrane mince.
5. Photorépéteur selon la revendication 4, caractérisé en ce que la couche est en tungstène ou molybdène ou nitrure de tantale.
- 25 6. Photorépéteur selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que l'optique diffractive comprend des motifs permettant non seulement la formation d'une image d'un masque dans une résine à exposer mais aussi la correction d'aberrations.
- 30 7. Photorépéteur selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'optique diffractive comporte deux membranes superposées comprenant

chacune un motif de gravures, l'un des éléments permettant la formation d'une image d'un masque, l'autre permettant la correction d'aberrations.

5 8. Photorépéteur selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que le cadre de l'optique de projection comprend un arrangement de plusieurs ouvertures régulièrement réparties, avec, au-dessus de chaque ouverture respective, une membrane portant un motif de gravures conférant à la membrane mince une fonction d'optique diffractive en transmission à la longueur d'onde utilisée par le photorépéteur.

10

9. Photorépéteur selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que l'optique de projection est montée de manière amovible pour pouvoir changer d'optique en même temps qu'on change de masque, afin de mettre en place une optique adaptée au masque.

15

10. Photorépéteur selon l'une des revendications 1 à 9, destiné à recevoir un masque devant une optique de projection pour projeter une image sur une surface, l'optique de projection étant composée de plusieurs optiques partielles montées sur un même support plan et capables de projeter simultanément chacune une portion respective de l'image, chaque optique partielle pouvant être commandée indépendamment des autres optiques partielles pour ajuster au moins un paramètre de la projection de la portion d'image correspondant à cette optique, tel que la focalisation, le grandissement, la rotation dans le plan, le tilt du plan, ou la position précise d'une portion d'image dans le plan.

20

11. Photorépéteur selon la revendication 10, caractérisé en ce que chaque optique partielle est composée d'un groupe d'optiques élémentaires correspondant à une sous-portion d'image, les optiques élémentaires d'un groupe étant commandées simultanément.

30

12. Procédé de lithographie en extrême ultra-violet, utilisant un photorépéteur et un masque de lithographie, caractérisé en ce qu'on met en place dans le photorépéteur une optique de projection d'une image définie par le masque, l'optique comportant un cadre épais ayant au moins une

35

ouverture sur laquelle est tendue une membrane mince transparente en
extrême ultraviolet d'une épaisseur maximale de 500 nanomètres portant un
motif de gravures conférant à la membrane mince une fonction d'optique de
projection diffractive en transmission à la longueur d'onde utilisée par le
5 photorépéteur, et on met en place un masque fonctionnant en transmission,
comportant un cadre épais ayant au moins une ouverture sur laquelle est
tendue une membrane mince transparente en extrême ultraviolet, d'une
épaisseur maximale de 500 nanomètres, portant une couche mince d'un
matériau opaque ou partiellement opaque au rayonnement en extrême ultra-
10 violet, cette couche mince étant gravée selon un motif définissant le masque
souhaité dans une zone définie par l'ouverture sur laquelle est tendue la
membrane, l'ouverture de l'optique de projection étant disposée en regard de
celle du masque lorsque le masque et l'optique sont en place dans le
photorépéteur.

15

13. Procédé de lithographie selon la revendication 12, caractérisé
en ce que le masque comprend un arrangement de plusieurs ouvertures
régulièrement réparties, avec, au-dessus de chaque ouverture respective,
une membrane portant une couche opaque ou partiellement opaque à
20 l'extrême ultra-violet, gravée selon un motif respectif, et l'optique de
projection comprend un arrangement de plusieurs ouvertures régulièrement
réparties, avec, au-dessus de chaque ouverture respective, une membrane
portant un motif de gravures conférant à la membrane mince une fonction
d'optique de projection diffractive en transmission à la longueur d'onde
25 utilisée par le photorépéteur, les ouvertures du masque étant disposées en
regard d'ouvertures correspondantes de l'optique de projection lorsque le
masque est placé dans le photorépéteur.

14. Procédé de lithographie selon la revendication 13, caractérisé
30 en ce qu'il comprend l'exposition successive d'une couche photosensible à
travers des masques différents, chaque masque comprenant un cadre
pourvu de plusieurs ouvertures sur chacune desquelles est formée une
membrane mince portant une couche mince gravée, les formes et/ou les
positions des ouvertures par rapport au cadre étant différentes d'un masque
35 à l'autre pour permettre l'exposition complète de la surface de la couche

photosensible, y compris dans les zones masquées par les cadres des différents masques autour de leurs ouvertures, et à chaque masque est associé une optique de projection ayant une répartition d'ouvertures correspondant à la répartition d'ouvertures du masque respectif pour que
5 chaque ouverture du masque soit en regard d'une ouverture respective de l'optique de projection associée.

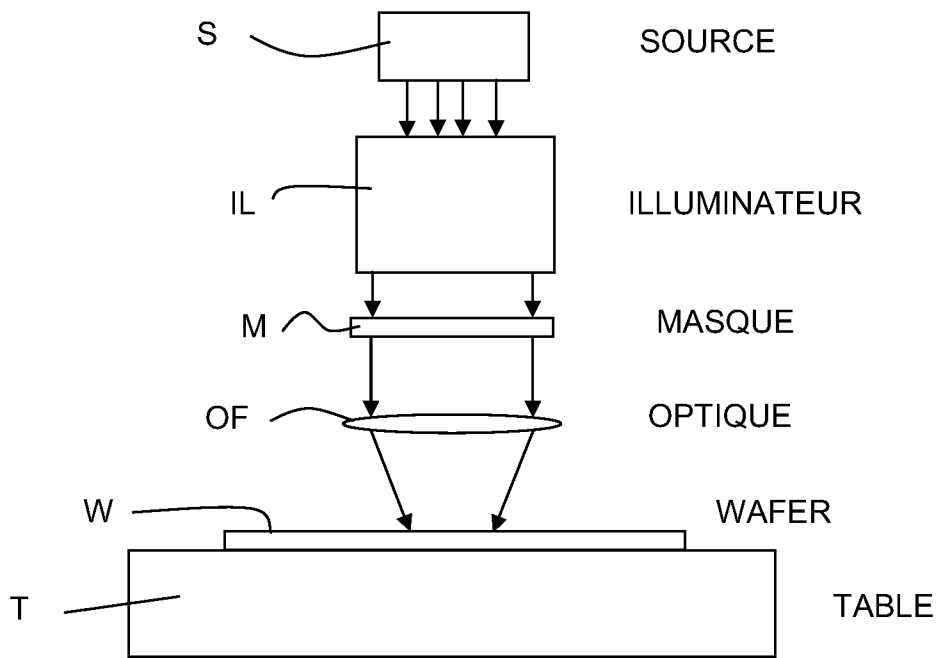


Fig. 1

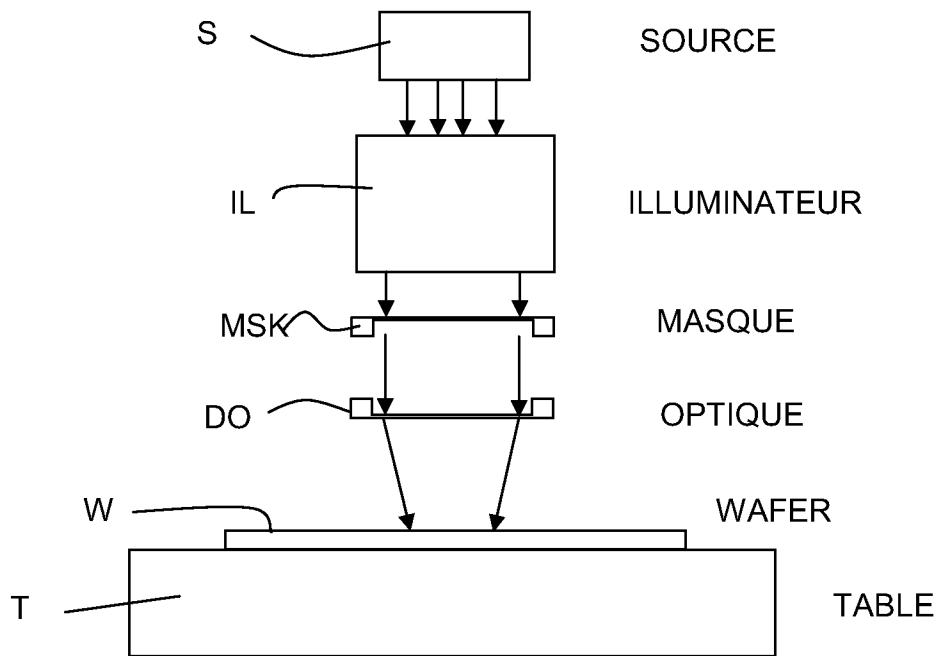


Fig. 2

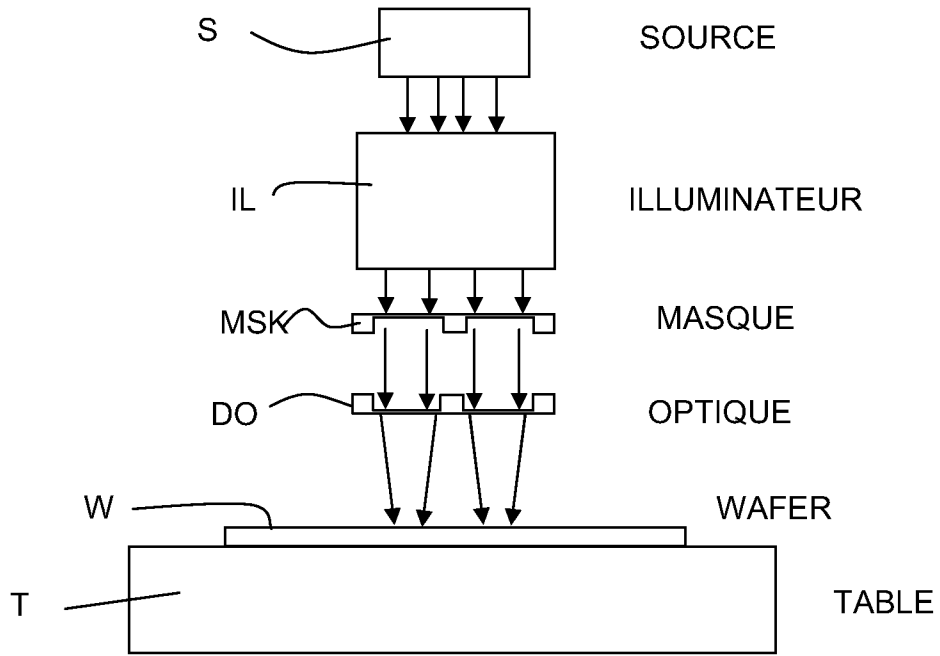


Fig. 3

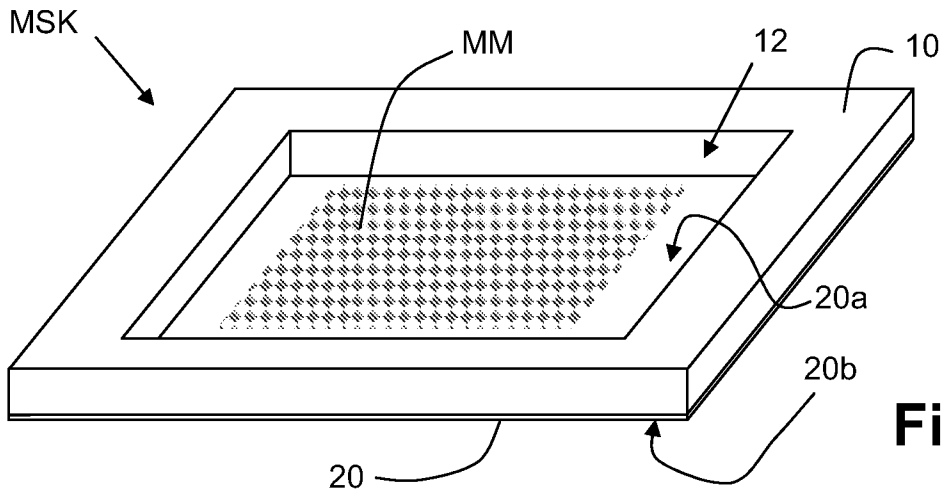


Fig. 4

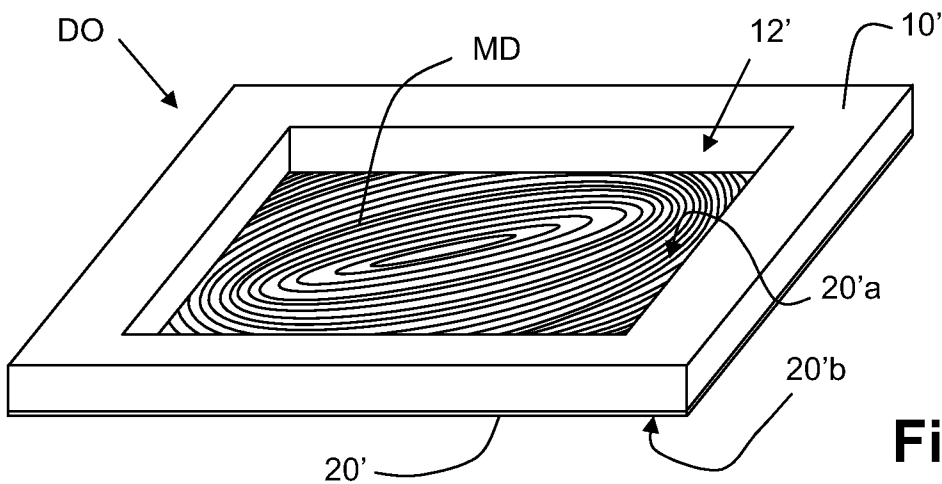


Fig. 5

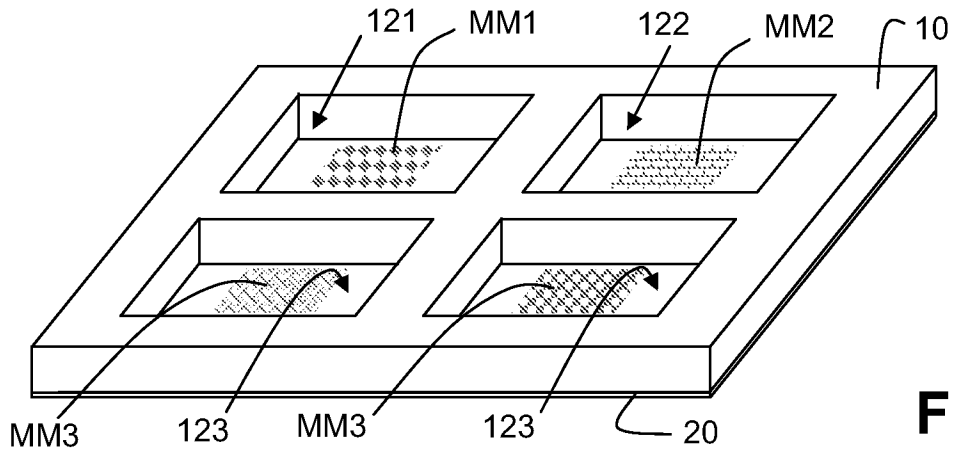


Fig. 6

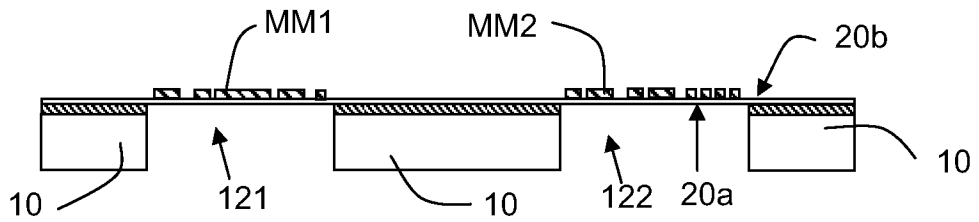


Fig. 7

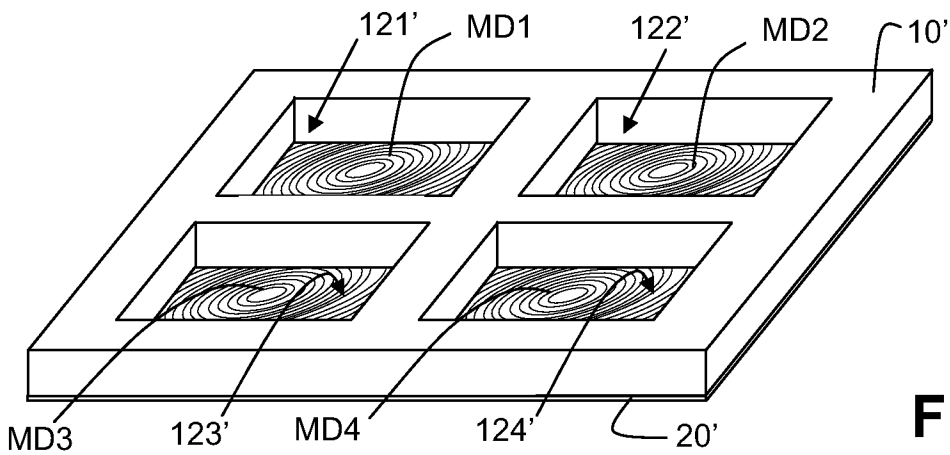


Fig. 8

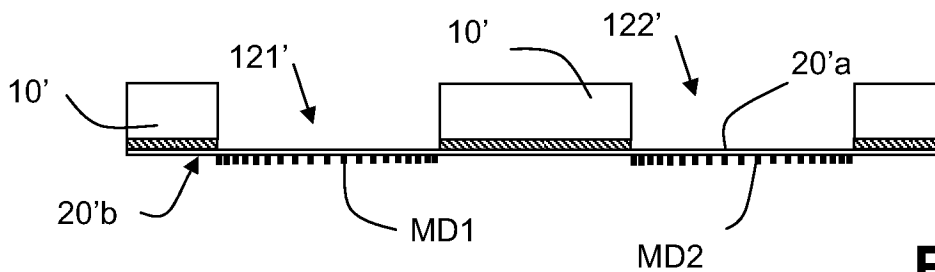


Fig. 9

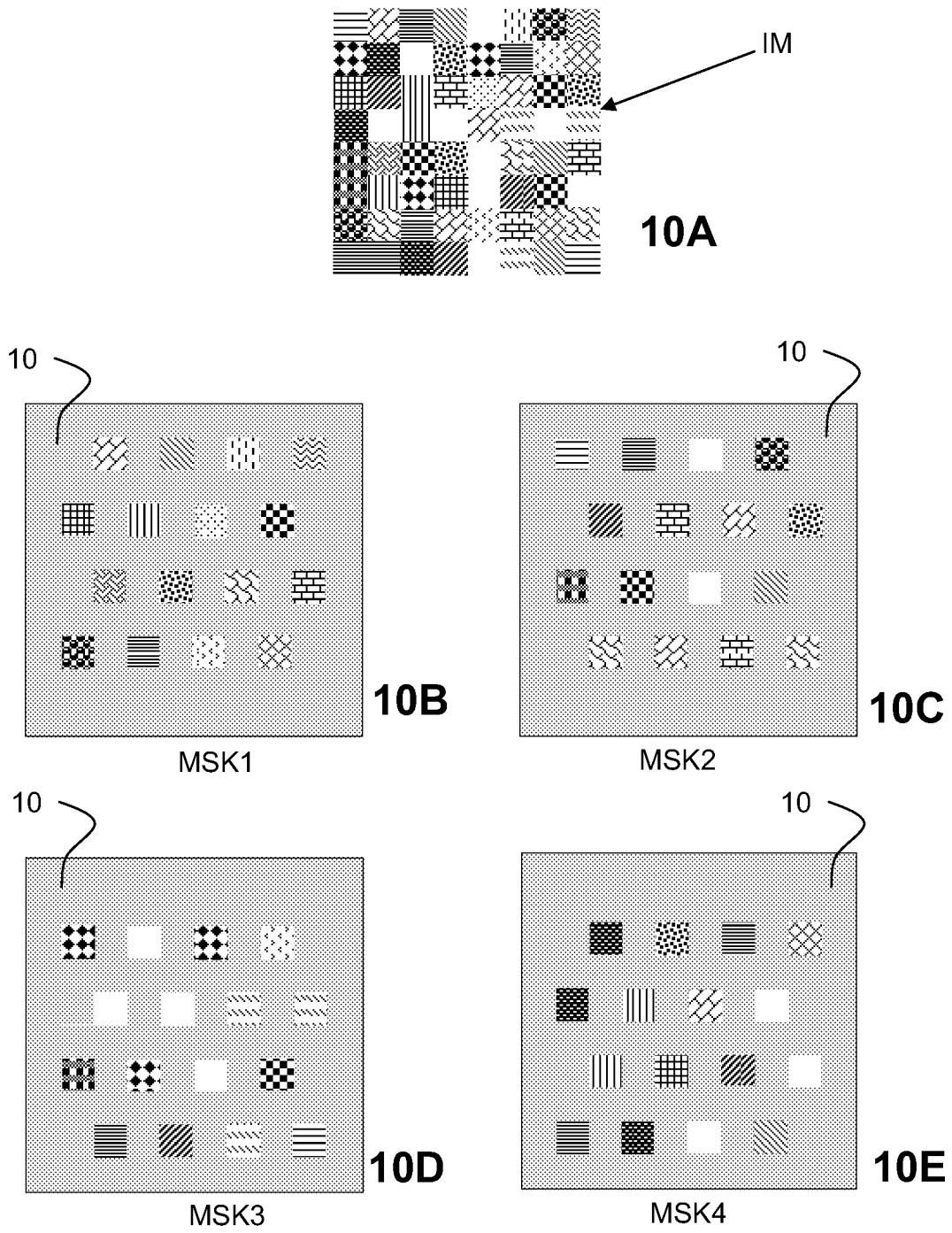


Fig. 10

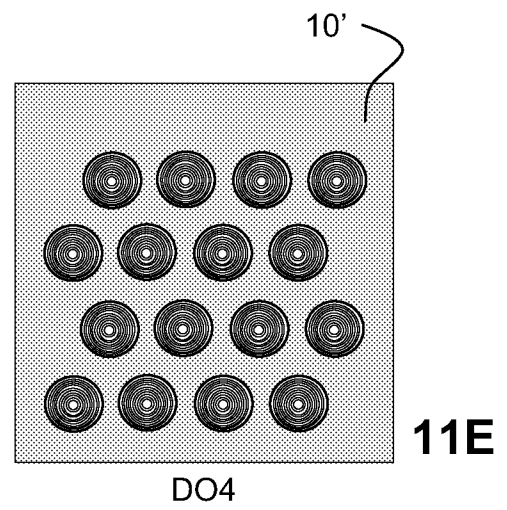
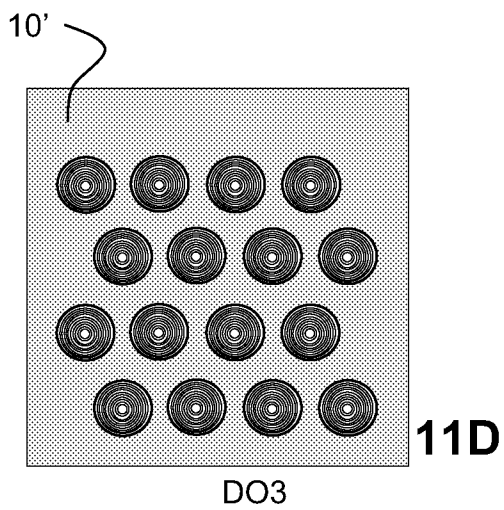
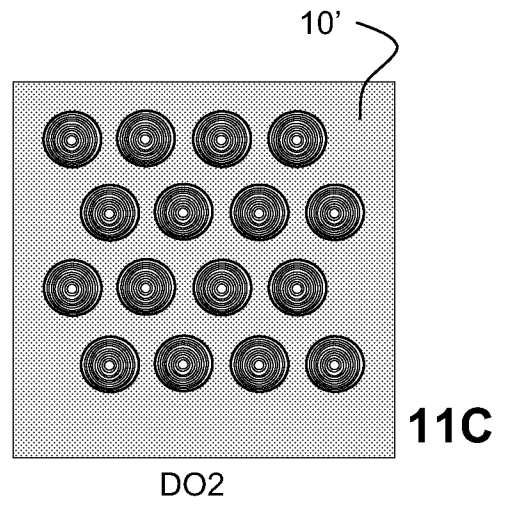
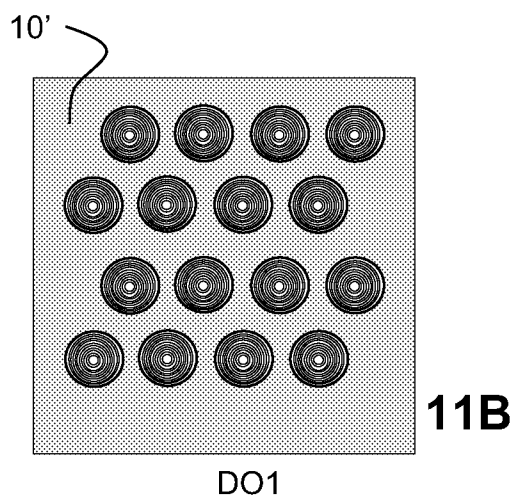
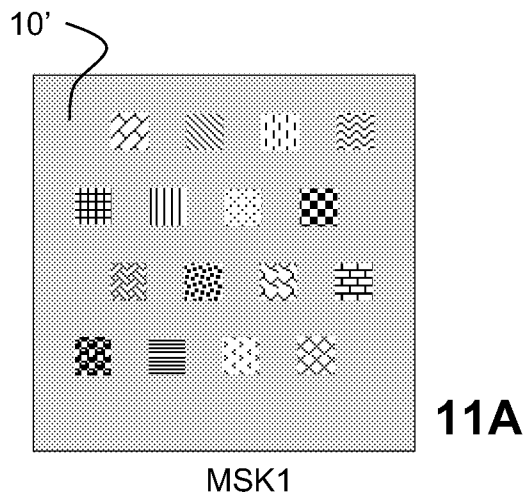


Fig. 11

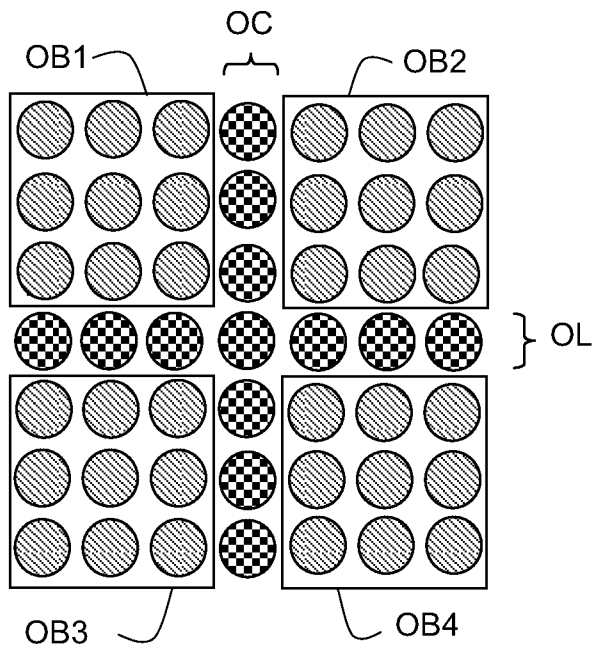


Fig. 12

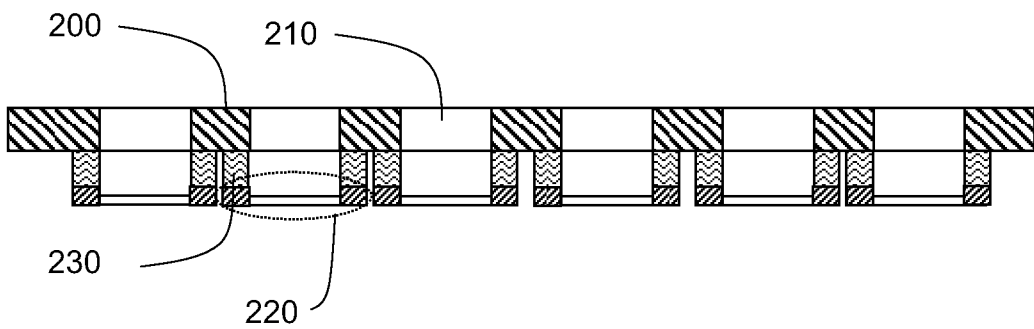


Fig. 13