

19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

11) N° de publication : **2 894 035**
(à n'utiliser que pour les
commandes de reproduction)

21) N° d'enregistrement national : **05 12137**

51) Int Cl⁸ : G 02 B 3/00 (2006.01), H 01 L 27/146

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 30.11.05.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 01.06.07 Bulletin 07/22.

56) Liste des documents cités dans le rapport de recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du présent fascicule*

60) Références à d'autres documents nationaux apparentés :

71) Demandeur(s) : *STMICROELECTRONICS ROUSSET SAS Société par actions simplifiée — FR et UNIVERSITE PAUL CEZANNE AIX MARSEILLE III — FR.*

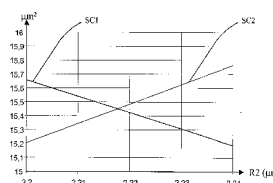
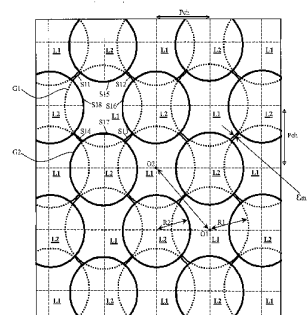
72) Inventeur(s) : DUNNE BRENDAN, FOSSATI CAROLINE et GAGLIANO OLIVIER.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : OMNIPAT.

54) **IMAGEUR CMOS COMPRENANT UNE MATRICE DE MICROLENTILLES AYANT UN TAUX DE REMPLISSAGE ELEVE.**

57) L'invention concerne un imageur CMOS comprenant une matrice de photosites et une matrice de microlentilles, dans lequel la matrice de microlentilles comprend des microlentilles d'un premier type (L1) et des microlentilles d'un second type (L2), les microlentilles du premier type (L1) sont réalisées suivant un premier gabarit circulaire (G1) présentant un premier rayon (R1), les microlentilles du second type (L2) sont réalisées suivant un second gabarit circulaire (G2) présentant un second rayon (R2) inférieur au premier rayon (R1), et les premier (G1) et second (G2) gabarits présentent des zones de recouvrement. Avantage: réalisation d'un imageur CMOS ayant un taux de remplissage élevé.



FR 2 894 035 - A1



IMAGEUR CMOS COMPRENANT UNE MATRICE DE MICROLENTILLES
AYANT UN TAUX DE REMPLISSAGE ELEVE

La présente invention concerne les imageurs CMOS et plus particulièrement une structure de matrice de microlentilles d'imageur CMOS ainsi qu'un procédé de fabrication d'une telle matrice de microlentilles.

5 Les imageurs réalisés selon la technologie CMOS ("Complementary Metal Oxide Semiconductor") font actuellement l'objet d'un nombre croissant d'applications en raison de leur faible prix de revient comparativement aux imageurs CCD (Charge Coupled Device). De tels
10 imageurs CMOS étaient initialement utilisés pour réaliser des capteurs d'image à faible résolution et de qualité médiocre (par exemple des caméras web). Aujourd'hui, après un important investissement en recherche et développement, les imageurs CMOS peuvent rivaliser avec
15 les imageurs CCD. La présente invention s'inscrit dans cet effort de perfectionnement de cette technologie d'imageurs.

La figure 1 représente un exemple de module de capture d'images et/ou de capture vidéo utilisant un
20 imageur CMOS, destiné par exemple à être monté dans un appareil portatif tel un téléphone mobile, un appareil photographique ou une caméra vidéo. Le module 1 comprend un châssis 2, un bloc porte-lentilles 3, des lentilles 4 solidaires du bloc 3, un filtre infrarouge 5 et un
25 support 6. Un imageur CMOS 10 est disposé sur le support 6 et reçoit la lumière passant à travers les microlentilles et le filtre infra-rouge.

L'imageur CMOS 10 se présente sous la forme d'une microplaquette de semi-conducteur et comprend une pluralité de photosites formant chacun un pixel (non visibles sur la figure 1). Chaque pixel comprend une photodiode et un circuit de contrôle et d'interconnexion de la photodiode. Les pixels sont agencés de façon matricielle et une mosaïque de filtres rouges, verts, bleus est répartie au-dessus de la matrice de pixels, généralement selon l'architecture de Bayer (les cellules d'une ligne étant alternativement rouges et vertes ou alternativement vertes et bleues). Chaque pixel est ainsi recouvert par un filtre de couleur primaire déterminée, rouge, verte ou bleue, et fournit une information de luminance relative à la couleur primaire qui lui est attribuée, formant une information de pixel.

La figure 2 est une vue en coupe schématique de l'imageur CMOS 10 dans une région correspondant à trois pixels PIX1, PIX2, PIX3. En allant du bas vers le haut, on distingue des couches 11, 12, 13, 14, 15 et des microlentilles L0 (L0-1, L0-2, L0-3). La couche 11 est le substrat semi-conducteur sur lequel l'imageur est implanté. Cette couche 11 représente ainsi la partie active de l'imageur et comprend des photodiodes et leurs circuits de contrôle et d'interconnexion associés (non détaillés). La couche 12 est formée par un matériau diélectrique qui recouvre entièrement le substrat 11. La couche 13 est une couche de passivation déposée sur l'imageur en fin de processus de fabrication CMOS. La couche 14 est formée par des résines colorées et comprend des secteurs 14-1, 14-2, 14-3 de couleur rouge, verte ou bleue formant les filtres de couleur primaire susmentionnés, à raison d'un filtre de couleur par pixel. La couche 15 est une couche de résine intermédiaire formant un support pour les microlentilles L0 et offrant une bonne planéité. Les microlentilles L0 sont agencées en une matrice dite "MLA" ("Microlens Array") à raison d'une microlentille par pixel.

La figure 3 est une vue éclatée en coupe de l'imageur 10 représentant la structure d'un pixel PIXi. Le filtre coloré 14 et la microlentille L0-i du pixel sont représentés éloignés de la partie active 12 qui est elle-même représentée sans son matériau diélectrique afin de laisser entrevoir des composants qu'elle comporte. On distingue ainsi une photodiode 121 dopée n+ formée au-dessus d'un caisson 11' dopé p implanté dans le substrat 11, et des éléments formant le circuit de contrôle et d'interconnexion de la photodiode. Ces éléments comprennent par exemple un transistor amplificateur 122, un transistor de bus de sélection de colonne 123, un transistor de remise à zéro 124, et un bus 125 de sélection de ligne.

Une particularité des imageurs CMOS, qui apparaît en figure 3, est que la photodiode n'occupe qu'une partie de la surface totale du pixel, le reste étant occupé par le circuit de contrôle et d'interconnexion de la photodiode. Pour cette raison, un pixel CMOS est généralement appelé "pixel actif", contrairement à un pixel d'imageur CCD où la photodiode occupe sensiblement toute la surface d'un pixel. En pratique, la photodiode n'occupe généralement que 50% de la surface du pixel.

La microlentille L0 permet de recueillir et de focaliser sur la photodiode 121 les photons reçus par le pixel. Sans microlentille, le rendement de l'imageur (ratio entre l'énergie lumineuse reçue et l'énergie lumineuse captée et transformée en tension électrique) serait médiocre et les images fournies présenteraient une faible luminosité et un faible contraste. Ainsi, on appelle "facteur de remplissage" ("fill factor") le pourcentage entre la surface utile du pixel (surface de la photodiode) et la surface totale de celui-ci. La prévision d'une matrice de microlentilles permet d'obtenir un facteur de remplissage plus élevé. Le facteur de remplissage correspond alors au ratio entre la surface occupée par les microlentilles et la surface

totale de la partie active de l'imageur, car toute la lumière recueillie par les microlentilles est présumée envoyée sur les photodiodes

Une structure classique de matrice de microlentilles L0 est représentée par une vue de dessus sur la figure 4. Les microlentilles ont une base de forme circulaire et un diamètre constant, et sont espacées les unes des autres d'une distance centre à centre P_{ch} appelée "pas" ("pitch"), correspondant au pas de la matrice de photodiodes. Les bords les plus rapprochés des microlentilles ne se touchent pas et se trouvent à une distance ϵ . Cette distance est généralement réduite à un minimum ϵ_{min} offert par le procédé de fabrication. A titre d'exemple, avec les procédés de photolithographie actuels, la distance minimale de séparation ϵ_{min} devant être respectée est de 0,4 μm . Ainsi, pour un pas de 4 μm , le diamètre maximal d'une microlentille pouvant être choisi est de 3,6 μm . Mathématiquement, en tenant compte de la forme circulaire de la base des microlentilles, le facteur de remplissage obtenu est alors de l'ordre de 64%.

Ainsi, malgré la prévision de la matrice de microlentilles, 36% de la surface de chaque pixel est perdue, soit 36% de la surface totale de l'imageur. Cet inconvénient est dû à la forme circulaire de la base des microlentilles mais également à la distance ϵ_{min} entre les bords des microlentilles adjacentes.

Le procédé de fabrication classique d'une telle structure de microlentilles est illustré sur les figures 5A à 5E et comprend les étapes suivantes :

- dépôt d'une couche de résine polymère photosensible 21 (photorésine) sur une plaquette d'imageur 20 et cuisson douce ("soft bake") de la couche de résine (figure 5A),
- exposition de la couche de résine 21 à une lumière ultraviolette à travers un masque d'insolation M0 (figure 5B),

- retrait des parties insolées de la couche de résine 21 avec un solvant organique (figure 5C), pour obtenir une matrice de pastilles plates P0,

- fluage thermique des pastilles P0 pour obtenir
5 des microlentilles L0 ayant une face supérieure convexe (figure 5D),

- recuit des microlentilles L0 afin d'assurer leur durcissement (figure 5E).

La résine utilisée est une résine positive, c'est-
10 à-dire présentant une solubilité élevée en présence d'un solvant approprié (agent de gravure) après exposition aux UV. Le masque d'insolation M0 présente ainsi des zones sombres dont la forme est identique à la forme des microlentilles devant être réalisées, et des zones
15 transparentes s'étendant entre les zones sombres, correspondant aux zones de résine devant être retirées. La distance minimale de séparation ϵ_{\min} entre les bords des microlentilles L0 correspond à la distance minimale entre les zones sombres du masque M0. En deçà de cette
20 distance minimale, on observe des bavures en bordure des pastilles P0 et une mauvaise séparation de celles-ci, entraînant des distorsions dans la forme des microlentilles après l'étape de fluage.

En conclusion, la structure classique de
25 microlentilles qui vient d'être décrite présente l'inconvénient de présenter un facteur de remplissage éloigné de la valeur idéale de 100%, en raison d'une part de la forme circulaire des microlentilles, qui limite le remplissage, et d'autre part de la distance minimale de
30 séparation ϵ_{\min} entre les bords des microlentilles.

Ainsi, un objectif de la présente invention est de prévoir une structure de matrice de microlentilles qui offre un facteur de remplissage supérieur à celui offert par les matrices de microlentilles classiques.

35 Un autre objectif de la présente invention est de prévoir un procédé de fabrication d'une matrice de

microlentilles dans lequel des microlentilles sont agencées côte à côte sans espacement entre les bords.

Pour atteindre ces objectifs, la présente invention prévoit un imageur CMOS comprenant une matrice de photosites et une matrice de microlentilles, dans lequel
5 la matrice de microlentilles comprend des microlentilles d'un premier type et des microlentilles d'un second type, les microlentilles du premier type sont réalisées suivant un premier gabarit circulaire présentant un premier
10 rayon, les microlentilles du second type sont réalisées suivant un second gabarit circulaire présentant un second rayon inférieur au premier rayon, et les premier et second gabarits présentent des zones de recouvrement.

Selon un mode de réalisation, les zones de recouvrement des gabarits sont occupées par les microlentilles du second type, et les microlentilles du premier type présentent une base octogonale à côtés arrondis et n'occupent pas les zones de recouvrement.

Selon un mode de réalisation, les microlentilles du second type recouvrent les microlentilles du premier type dans les zones de recouvrement des gabarits.

Selon un mode de réalisation, les microlentilles du premier type sont multifocales et les microlentilles du second type sont monofocales.

25 Selon un mode de réalisation, les microlentilles du premier type et du second type sont monofocales.

Selon un mode de réalisation, les rayons des premier et second gabarits sont tels que la surface du premier gabarit moins la surface des zones de recouvrement est égale à la surface du second gabarit.
30

Selon un mode de réalisation, les microlentilles du premier type sont réparties en alternance avec les microlentilles du second type selon un pas constant Pch , et le rayon du premier gabarit est égal à une valeur $R1$ satisfaisant l'équation suivante : $R1 = 1/2(\sqrt{2} * Pch - \epsilon)$, dans laquelle ϵ est une distance de séparation entre les bords de deux microlentilles contiguës du premier type.
35

Selon un mode de réalisation, l'imageur comprend entre les bords les plus rapprochés des microlentilles du premier type et des microlentilles du second type, une distance de séparation égale à une tolérance du procédé de fabrication de l'imageur.

Selon un mode de réalisation, l'imageur comprend entre les bords les plus rapprochés des microlentilles du premier type et des microlentilles du second type, une distance de séparation nulle ou inférieure à une tolérance du procédé de fabrication de l'imageur.

L'invention concerne également un appareil portatif, notamment téléphone mobile, appareil photographique ou caméra vidéo, comprenant un imageur selon l'invention.

L'invention concerne également un procédé de fabrication d'un imageur CMOS comprenant une matrice de photosites, le procédé comprenant une étape de fabrication d'une matrice de microlentilles sur une face de l'imageur, l'étape de fabrication de la matrice de microlentilles comprenant une étape de fabrication de microlentilles d'un premier type et une étape de fabrication de microlentilles d'un second type, les microlentilles du premier type étant réalisées suivant un premier gabarit circulaire présentant un premier rayon, les microlentilles du second type étant réalisées suivant un second gabarit circulaire présentant un second rayon inférieur au premier rayon, et les premier et second gabarits présentent des zones de recouvrement.

Selon un mode de réalisation, les microlentilles du premier type sont fabriquées de manière à présenter une base octogonale à côtés arrondis et ne s'étendent pas dans les zones de recouvrement des premier et second gabarits.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend une étape de fabrication de pastilles de résine ayant un contour octogonal à côtés arrondis, et une étape de

fluage des pastilles pour obtenir les microlentilles du premier type.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend une étape de fabrication de microlentilles du premier type ayant un contour circulaire, et une étape de gravure des microlentilles du premier type de manière que les microlentilles du premier type présentent une base octogonale à côtés arrondis.

Selon un mode de réalisation, les microlentilles du second type sont réalisées après les microlentilles du premier type et recouvrent les microlentilles du premier type dans les zones de recouvrement des gabarits.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend une étape de calcul préalable des rayons des premier et second gabarits, de manière que la surface du premier gabarit moins la surface des zones de recouvrement soit égale à la surface du second gabarit.

Selon un mode de réalisation, les microlentilles du premier type sont réparties en alternance avec les microlentilles du second type selon un pas constant Pch, et le procédé comprend une étape de détermination d'un rayon R1 du premier gabarit satisfaisant l'équation suivante : $R1 = 1/2(\sqrt{2} \cdot Pch - \epsilon)$, dans laquelle ϵ une distance entre les bords de deux microlentilles contiguës du premier type.

Selon un mode de réalisation, l'étape de fabrication de microlentilles du premier type et l'étape de fabrication de microlentilles du second type sont simultanées.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend les étapes suivantes : dépôt d'une couche de résine sur une plaquette d'imageur, insolation de la couche de résine à travers un masque d'insolation, retrait des parties insolées de la couche de résine, pour obtenir des pastilles de résine d'un premier type et d'un second type, et fluage thermique des pastilles du premier type

et du second type, pour obtenir des microlentilles du premier type et du second type.

Selon un mode de réalisation, l'étape de fabrication de microlentilles du second type est conduite après l'étape de fabrication des microlentilles du premier type.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend les étapes suivantes : dépôt d'une première couche de résine sur une plaquette d'imageur, insolation de la première couche de résine à travers un premier masque d'insolation, retrait des parties insolées de la couche de résine, pour obtenir des pastilles de résine d'un premier type, fluage thermique des pastilles pour obtenir des microlentilles du premier type, dépôt d'une seconde couche de résine sur la plaquette d'imageur, insolation de la seconde couche de résine à travers un second masque d'insolation, retrait des parties insolées de la couche de résine, pour obtenir des pastilles de résine d'un second type, et fluage thermique des pastilles du second type pour obtenir les microlentilles du second type.

Selon un mode de réalisation, le premier masque d'insolation est conformé de manière que les pastilles de résine du premier type présentent un contour octogonal à côtés arrondis.

Selon un mode de réalisation, le procédé comprend les étapes suivantes : dépôt d'une première couche de résine sur une plaquette d'imageur, insolation de la première couche de résine à travers un premier masque d'insolation, retrait des parties insolées de la couche de résine, pour obtenir des pastilles de résine d'un premier type ayant un contour circulaire, fluage thermique des pastilles pour obtenir des microlentilles du premier type présentant une base circulaire, gravure des microlentilles du premier type de manière que les microlentilles du premier type présentent une base octogonale à côtés arrondis, dépôt d'une seconde couche de résine sur la plaquette d'imageur, insolation de la

seconde couche de résine à travers un second masque d'insolation, retrait des parties insolées de la résine, pour obtenir des pastilles de résine d'un second type, et fluage thermique des pastilles du second type pour
5 obtenir les microlentilles du second type.

Selon un mode de réalisation, l'étape de gravure des pastilles du premier type est conduite au moyen d'un plasma gazeux.

Selon un mode de réalisation, l'étape de gravure
10 des pastilles du premier type est conduite par l'intermédiaire d'un masque de gravure formé par dépôt d'une couche de résine de masquage sur la plaquette d'imageur, insolation de la couche de résine de masquage à travers un masque d'insolation, retrait de la résine de
15 masquage insolée, pour l'obtention du masque de gravure.

Ces objets, caractéristiques et avantages ainsi que d'autres de la présente invention seront exposés plus en détail dans la description suivante d'une matrice de microlentilles selon l'invention et de divers procédés de
20 fabrication de cette matrice de microlentilles, faite à titre non limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

- la figure 1 précédemment décrite représente un module de capture d'images ou de vidéo utilisant un imageur
25 CMOS,
- la figure 2 précédemment décrite est une vue en coupe schématique de l'imageur CMOS,
- la figure 3 précédemment décrite est une vue éclatée d'un pixel de l'imageur CMOS,
- 30 - la figure 4 précédemment décrite est une vue de dessus d'une matrice de microlentilles classique pour imageur CMOS,
- les figures 5A à 5E précédemment décrites illustrent un procédé classique de fabrication de la matrice de
35 microlentilles représentée en figure 4,

- la figure 6 est une vue de dessus d'une matrice de microlentilles selon l'invention, comprenant des microlentilles d'un premier type et d'un second type,
- la figure 7 est un graphique illustrant une étape de
5 détermination du rayon des microlentilles du second type,
- les figures 8A à 8E sont des vues en coupe illustrant un premier procédé de fabrication de la matrice de microlentilles de la figure 6,
- la figure 9 représente un masque d'insolation utilisé
10 par le premier procédé,
- la figure 10 est une vue de dessus d'une matrice de microlentilles réalisée selon le premier procédé,
- la figure 11 est une vue de dessus d'une microlentille du premier type et les figures 12A, 12B sont des vues en
15 coupe de cette microlentille selon deux axes de coupe différents,
- la figure 13 illustre des propriétés optiques d'une microlentille du premier type réalisée selon le premier procédé,
- la figure 14 illustre des propriétés optiques d'une
20 microlentille du second type réalisée selon le second procédé,
- les figures 15A à 15J sont des vues en coupe illustrant un deuxième procédé de fabrication de la matrice de
25 microlentilles de la figure 6,
- les figures 16 et 17 représentent des masques d'insolation utilisés par le deuxième procédé,
- la figure 18 est une vue de dessus d'une matrice de microlentilles réalisée selon le deuxième procédé,
- les figures 19A à 19J sont des vues en coupe illustrant
30 un troisième procédé de fabrication de la matrice de microlentilles de la figure 6,
- les figures 20 et 21 représentent des masques d'insolation utilisés par le troisième procédé,
- la figure 22 est un schéma équivalent d'une matrice de
35 microlentilles réalisée selon le troisième procédé, représentée en coupe,

- la figure 23 est une vue de dessus correspondant à la vue en coupe de la figure 19F et représente des microlentilles en voie de formation,
- la figure 24 est une vue de dessus d'une matrice de microlentilles réalisée selon le troisième procédé,
- la figure 25 illustre des propriétés optiques d'une microlentille du premier type réalisée selon le troisième procédé,
- la figure 26 illustre des propriétés optiques d'une microlentille du second type réalisée selon le troisième procédé,
- les figures 27A à 27O sont des vues en coupe illustrant un quatrième procédé de fabrication de la matrice de microlentilles de la figure 6,
- les figures 28, 29, 30 représentent des masques d'insolation utilisés par le quatrième procédé,
- la figure 31 est une vue de dessus d'une matrice de microlentilles réalisée selon le quatrième procédé,
- la figure 32 illustre des propriétés optiques d'une microlentille d'un premier type réalisée selon le quatrième procédé, et
- la figure 33 illustre des propriétés optiques d'une microlentille d'un second type réalisée selon le quatrième procédé.

25 Structure d'une matrice de microlentilles selon l'invention

La figure 6 est une représentation abstraite d'une matrice de microlentilles selon l'invention, vue de dessus. La forme des microlentilles vues de dessus correspond à la forme de la base (ou pied) des microlentilles. La matrice comprend des microlentilles d'un premier type L1, ou microlentilles L1, réalisées suivant un premier gabarit G1, et des microlentilles d'un second type L2, ou microlentilles L2, réalisées suivant un second gabarit G2. Les gabarits sont représentés en traits pointillés tandis que les bases des microlentilles sont représentées en traits continus.

La matrice de microlentilles présente les caractéristiques générales suivantes :

- les gabarits G1 et G2 sont des cercles de rayons R1 et R2 et sont agencés en alternance selon des lignes et des colonnes de la matrice, repérées par des traits pointillés horizontaux et verticaux formant un maillage,

- la distance entre le centre d'une microlentille L1 et le centre d'une microlentille adjacente L2 est égale au pas Pch de la matrice de photosites (pixels) de l'imageur CMOS correspondant, qui est donc également le pas de la matrice de microlentilles,

- la somme des rayons R1 et R2 est supérieure au pas Pch, de sorte que les gabarits G1 et G2 présentent des zones de recouvrement, comme cela apparaît sur la figure,

- la base des microlentilles L2 a une forme correspondant au gabarit G2 (les traits pointillés du gabarit G2 étant ainsi recouverts par les traits continus représentant les microlentilles L2),

- la base des microlentilles L1 a une forme qui délimite une aire correspondant à l'aire couverte par le gabarit G1 à laquelle on soustrait les zones de recouvrement avec le gabarit G2 des microlentilles L2 adjacentes (quatre zones de recouvrement pour chaque microlentille L1).

Il en résulte que la base des microlentilles L1 a une forme "octogonale à bords arrondis" présentant quatre bords à courbure positive S11, S12, S13, S14 correspondant à des secteurs angulaires du gabarit G1 et quatre bords à courbure négative S15, S16, S17, S18 correspondant à des secteurs angulaires des gabarits G2 des microlentilles L2 adjacentes.

Détermination des gabarits G1, G2

Selon un aspect optionnel mais avantageux de l'invention, les surfaces actives (surfaces réelles) des microlentilles L1 et L2 sont choisies identiques, afin que les photosites couverts par les microlentilles L1

reçoivent la même quantité de lumière que les photosites couverts par les microlentilles L2 (à éclairage constant). Ainsi, les rayons R1, R2 des gabarits sont de préférence déterminés de manière que les surfaces actives des microlentilles L1, L2 soient égales. A cet effet, on calcule d'abord le rayon R1 puis on détermine le rayon R2 en fonction de R1.

Calcul de R1

On désigne par [O1 O2] la distance entre les centres O1 et O2 de deux microlentilles L1 adjacentes, soit deux microlentilles de même type appartenant à deux lignes adjacentes et à deux colonnes adjacentes. La distance [O1 O2] est égale à la diagonale du maillage de la matrice, soit :

15

$$[O1 O2] = \sqrt{Pch^2 + Pch^2} \quad (1)$$

Par ailleurs, le rayon R1 du gabarit G1 obéit à la relation :

20

$$2R1 + \epsilon = [O1 O2] \quad (2)$$

ϵ étant la distance entre les bords de deux microlentilles L1 adjacentes.

25

En combinant (1) et (2) on en déduit que :

$$R1 = 1/2(\sqrt{2} * Pch - \epsilon) \quad (3)$$

En réduisant la distance ϵ à la valeur minimale ϵ_{min} imposée par le procédé de fabrication (tolérance du procédé), afin d'obtenir le facteur de remplissage le plus élevé, il vient que le rayon R1 est égal à :

35

$$R1 = 1/2(\sqrt{2} * Pch - \epsilon_{min}) \quad (4)$$

Ainsi, par exemple, si le pas Pch est égal à 4 μm et ϵ_{min} égal à 0,4 μm , le rayon R1 est égal à 2,63 μm .

Calcul de R2

Le rayon R1 étant connu pour des valeurs de Pch et de ϵ_{\min} connues, l'équation d'égalité des surfaces des microlentilles de type L1 et de type L2 peut être résolue au moyen du graphique illustré en figure 7. L'axe des abscisses du graphique est gradué en μm et l'axe des ordonnées est gradué en μm^2 (micromètres carrés). On trace une courbe SC2 qui représente la valeur de la surface des microlentilles L2 lorsque R2 augmente, puis une courbe SC1 représentant la surface des microlentilles L1 en fonction de R2 (pour R1 constant). Cette surface décroît lorsque R2 croît car elle est égale à l'aire du gabarit G1 moins l'aire des zones de recouvrement, qui croît lorsque R2 croît. Ainsi, les deux courbes présentent un point d'intersection qui correspond au point d'égalité des surfaces des microlentilles L1 et L2. L'abscisse du point d'intersection est la valeur de R2 recherchée. Par exemple, on voit ici que le rayon R2 doit être égal à 2,22 μm environ quand R1 = 2,63 μm pour que les surfaces des microlentilles L1, L2 soient égales. En pratique, le rayon R2 peut aussi être déterminé au moyen d'un logiciel de simulation optique comprenant des algorithmes de calcul de surfaces de microlentilles, par exemple un simulateur ZEMAX.

Une telle structure de matrice de microlentilles présente l'avantage d'offrir un facteur de remplissage élevé (surface utile de la matrice de microlentilles relativement à la surface totale de la matrice). Les microlentilles L1 peuvent être monofocales (petit point lumineux sur la photodiode correspondante) ou multifocales (tache lumineuse sur la photodiode), tandis que les microlentilles L2 sont de préférence monofocales.

La distance focale des microlentilles L1 doit être de préférence sensiblement égale à celle des microlentilles L2 et cette distance focale commune doit correspondre à la distance entre la matrice de microlentilles et la matrice de photodiodes (épaisseur

des couches 12, 13, 14 et 15 en figure 2). La distance focale étant fonction du rayon des microlentilles et de leur hauteur, les microlentilles L1 du premier type et les microlentilles L2 du second type ne présentent pas, en principe, la même hauteur si leurs distances focales respectives sont égales. Par exemple, des microlentilles monofocales L1 de rayon $R1 = 2.63\mu\text{m}$ et de microlentilles monofocales L2 de rayon $R2 = 2.22\mu\text{m}$ doivent présenter des hauteurs respectives $H1 = 930\text{nm}$ et $H2 = 672\text{nm}$ pour l'obtention une distance focale identique de l'ordre de $8\mu\text{m}$. Toutefois, un compromis peut être fait et un exemple de réalisation de microlentilles L1, L2 ayant des hauteurs identiques sera décrit plus loin.

Enfin, si les microlentilles L1 sont réalisées multifocales, la hauteur des microlentilles L1 est déterminée de manière que la distance focale moyenne de la lentille (moyenne entre la plus petite distance focale et la plus grande distance focale) soit de préférence égale à la distance entre la matrice de microlentilles et la matrice de photodiodes, pour éviter que la tache lumineuse déborde au-delà des régions de photodiodes.

Fabrication de la matrice de microlentilles

On décrira dans ce qui suit quatre procédés de fabrication d'une matrice de microlentilles selon l'invention, désignés "procédé 1", "procédé 2", "procédé 3" et "procédé 4" et illustrés respectivement par les groupes de figures 8A-8E, 15A-15J, 19A-19J et 27A-27O.

Dans ces divers procédés, la matrice de microlentilles est réalisée sur une plaquette d'imageur qui est représentée schématiquement par une couche 20. Cette couche 20 comprend les couches 11 à 15 représentées en figure 2, la couche 11 (substrat et composants) formant la partie active de l'imageur.

Bien que les figures susmentionnées illustrent seulement la formation de quelques microlentilles de la matrice, les procédés 1 à 4 permettent de réaliser collectivement une pluralité d'imageurs sur une tranche

de silicium ("wafer"), qui est ensuite découpée pour obtenir des microplaquettes d'imageur individuelles.

Chacun de ces procédés comprend des étapes de dépôt et de cuisson douce d'une couche ou de deux couches de résine, d'insolation de la couche de résine ou des couches de résine à travers un masque d'insolation (résine positive), de retrait des parties insolées de la résine, de fluage de la résine restant présente sur la plaquette d'imageur et de durcissement de la résine. Ces étapes sont mises en œuvre de façon classique en ce qui concerne les paramètres du processus. Ainsi, les étapes de dépôt des couches de résine sont réalisées en déposant une quantité de résine positive au centre de la plaquette d'imageur 20 et en étalant la résine sur la plaquette par centrifugation. Les étapes de cuisson douce sont conduites pendant quelques dizaines de secondes à une température de l'ordre de 100°C. Les étapes d'insolation sont mises en œuvre avec une lumière ultraviolette pendant un temps correspondant au transfert d'une énergie photonique de l'ordre de 300 mJ. Les étapes de retrait de la résine insolée comprennent une étape consistant à tremper la couche de résine dans un bain de solvant organique à température déterminée (par exemple 23°) pendant une durée de l'ordre de quelques dizaines de secondes (par exemple 80s). Les étapes de fluage sont réalisées en exposant la résine à une température de l'ordre de 200°C à 240°C pendant quelques dizaines de secondes (par exemple 30 à 60s). Enfin, les étapes de durcissement sont des étapes de recuit des microlentilles, pendant quelques minutes et à une température de l'ordre de 200°C.

Procédé 1, figures 8A à 8E

Ce procédé utilise un seul masque d'insolation M10, représenté en figure 9 (vue partielle) comprenant des zones sombres M(L1) de forme octogonale à bords arrondis et des zones sombres M(L2) circulaires pour graver une couche de résine 21 et réaliser simultanément des

microlentilles de type L1 et de type L2. La distance minimale entre les zones sombres du masque M10, par exemple $0,4\mu\text{m}$, est imposée par le procédé et définit la distance minimale e_{min} entre deux microlentilles (distance bord à bord).

Le procédé 1 comprend plus particulièrement les étapes suivantes :

- dépôt de la couche de résine 21 sur la plaquette d'imageur 20 et cuisson douce de la couche de résine (figure 8A),
- exposition de la couche de résine à une lumière UV à travers le masque M10 (figure 8B),
- retrait des parties insolées de la couche de résine 21, pour obtenir des pastilles de résine d'un premier type P1 et d'un second type P2 (figure 8C),
- fluage thermique des pastilles P1 et P2 pour obtenir des microlentilles du premier type L1 et du second type L2 (figure 8D),
- durcissement des microlentilles L1, L2 (figure 8E).

La figure 10 est une vue de dessus de la matrice de microlentilles obtenue (vue partielle). La base des microlentilles de type L1 a une forme octogonale à bords arrondis telle que définie plus haut, tandis que la base des microlentilles L2 présente la forme circulaire également définie plus haut (Cf. calcul de R1 et R2). Ces formes octogonale et circulaire sont conférées ici aux pastilles P1 et P2 au moment de la gravure de la couche de résine (figure 8C), et définissent la forme de la base des microlentilles après que la face supérieure des pastilles a "gonflé" sous l'effet du fluage pour former la face supérieure convexe des microlentilles. Les parties sombres du masque M10 ont donc une forme identique à celle des pastilles P1, P2 du fait de l'utilisation d'une résine positive.

Les pastilles P1 ayant une forme octogonale à bords arrondis et les pastilles P2 ayant une forme circulaire, les microlentilles L1 obtenues après fluage des pastilles

P1 sont multifocales tandis que les microlentilles L2 sont monofocales. Ceci sera mieux compris en se référant aux figures 11 à 14.

La figure 11 représente une microlentille de type
5 L1 vue de dessus, la figure 12A représente la microlentille L1 en coupe suivant un axe AA' représenté en figure 11 et la figure 12B représente la microlentille L1 suivant un axe BB' également représenté en figure 11. L'axe AA' est un axe de plus grand diamètre de la
10 microlentille L1, le long duquel la microlentille présente un diamètre D_{lmax} . L'axe BB' est un axe de plus petit diamètre de la microlentille L1, le long duquel elle présente un diamètre D_{lmin} . Ainsi, comme représenté en figure 13, la microlentille L1 est l'équivalent d'une
15 pluralité de microlentilles de diamètres différents ayant chacune une distance focale déterminée comprise entre une distance focale minimale DF_{lmin} correspondant au plus petit diamètre D_{lmin} et une distance focale maximale DF_{lmax} correspondant au plus grand diamètre D_{lmax} . La
20 microlentille L1 présente une distance focale moyenne DF_{lav} (moyenne des distances focales) qui doit de préférence correspondre à la distance entre la matrice de microlentilles et la matrice de photodiodes de l'imageur, pour que la tache lumineuse fournie par les
25 microlentilles ne déborde pas au-delà des régions de photodiodes. Inversement, comme représenté en figure 14, une microlentille L2 ne présente qu'une seule distance focale DF_2 qui doit également, de préférence, correspondre à la distance entre le plan de la matrice de
30 microlentilles et le plan des photodiodes de l'imageur.

Pour que la distance focale moyenne DF_{lav} des microlentilles L1 soit égale à la distance focale DF_2 des microlentilles L2, les microlentilles L1 doivent présenter une hauteur H_1 déterminée et les microlentilles
35 L2 une hauteur H_2 différente de H_1 . Ces hauteurs sont fonction de l'épaisseur de la couche de résine avant gravure, soit la hauteur des pastilles de résine avant

fluage. La relation entre la hauteur des pastilles et l'épaisseur des microlentilles est donnée par des abaques fournis par le fabricant de résine ou établies par des expérimentations. Toutefois, les microlentilles L1 et L2
5 étant réalisées ici à partir de la même couche de résine, un compromis devra être fait. Par exemple, l'épaisseur de la couche de résine est choisie de manière que l'écart entre la hauteur réelle des microlentilles L1 et la valeur théorique H1 soit approximativement égal à l'écart
10 entre la hauteur réelle des microlentilles L2 et la valeur théorique H2.

En raison de la distance ϵ_{\min} devant être respectée entre les bords des microlentilles adjacentes de même type ou de type différent, le facteur de remplissage
15 obtenu en mettant en œuvre le procédé 1 est de l'ordre de 80%.

Procédés 2 à 4

Les procédés 2 à 4 qui seront maintenant décrits offrent avantageusement les caractéristiques suivantes :

- 20 - utilisation de deux couches de résine pour un contrôle différencié des hauteurs des microlentilles de type L1 et des microlentilles de type L2,
- suppression de la distance ϵ_{\min} entre les bords des microlentilles adjacentes de type L1 et de type L2 et
- 25 obtention d'un facteur de remplissage de l'ordre de 96%,
- obtention de microlentilles de type L1 monofocales (procédé 3 et 4 seulement).

Bien que l'obtention de microlentilles L1 monofocales soit présenté ici comme un avantage, la
30 réalisation de microlentilles L1 multifocales (procédé 1 et procédé 2) ne constitue pas un inconvénient rédhibitoire pour la mise en œuvre de l'invention, l'essentiel étant que les taches lumineuses obtenues avec des microlentilles multifocales ne débordent pas au-delà
35 des régions de photodiodes. Ainsi, en pratique, le choix du meilleur procédé dépendra des caractéristiques et des performances des équipements de photolithographie

utilisés, et du prix de revient des microlentilles. Un compromis pourra être fait entre la précision du procédé (dispersion des caractéristiques des microlentilles), le type de microlentilles obtenu (multifocales ou monofocales) et le prix de revient des microlentilles, en tenant compte également des applications visées (imageurs de qualité ou imageurs "bas de gamme").

Procédé 2, figures 15A à 15J

Ce procédé se distingue du procédé 1 en ce que les microlentilles L1 et les microlentilles L2 sont réalisées au moyen de deux couches de résine 21, 22, et deux masques d'insolation M20 et M21 représentés sur les figures 16 et 17 (vue partielle). Le masque M20 comporte des zones sombres M(L1) de forme octogonale à bords arrondis qui permettent de réaliser en premier lieu des microlentilles de type L1. Le masque M21 comporte des zones sombres M(L2) de forme circulaire qui permettent de réaliser ensuite les microlentilles de type L2.

Plus particulièrement, le procédé 2 comprend les étapes suivantes :

- dépôt de la couche de résine 21 sur une plaquette d'imageur 20 et cuisson douce de la couche de résine 21,
- insolation de la couche de résine 21 à travers le masque M20,
- retrait des parties insolées de la couche de résine 21 pour obtenir des pastilles de résine d'un premier type P1 (figure 15C),
- fluage thermique des pastilles pour obtenir des microlentilles du premier type L1 (figure 15D),
- durcissement des microlentilles L1 par recuit (figure 15E),
- dépôt de la couche de résine 22 sur la plaquette d'imageur 20 et cuisson douce de la couche de résine 22 (figure 15F),
- insolation de la couche de résine 22 à travers le masque M21 (figure 15G),

- retrait des parties insolées de la couche de résine 22, pour obtenir des pastilles de résine d'un second type P2 (figure 15H),

- fluage thermique des pastilles P2 pour obtenir les
5 microlentilles du second type L2 (figure 15I),

- durcissement des microlentilles L2 (figure 15J).

Le dépôt de la couche de résine 22 est effectué comme le dépôt de la couche 21, par centrifugation, la résine s'étendant par capillarité et sous l'effet de la
10 force centrifuge dans les régions dépourvues de résine et s'étendant entre les microlentilles L1. Les microlentilles L1 ne sont pas attaquées par le solvant organique pendant la gravure de la couche de résine 22, car le processus de recuit rend la résine résistante à
15 l'agent de gravure.

Les hauteurs respectives des microlentilles L1 et L2 sont donc ajustées ici de façon différenciée, grâce à un contrôle correspondant de l'épaisseur des couches de résine 21 et 22. On contrôle ainsi avec une plus grande
20 précision les distances focales des microlentilles L1 et L2, de manière que celles-ci soient égales ou proches.'

Les microlentilles de type L1 sont comme précédemment multifocales puisque les pastilles P1 présentent, avant fluage, un contour octogonal à bords
25 arrondis conféré par le masque M20. Les microlentilles de type L2 sont comme précédemment monofocales puisque les pastilles P2 présentent, avant fluage, un contour circulaire conféré par le masque M21.

On notera également l'avantage annoncé plus haut :
30 si la distance minimale ϵ_{\min} entre les bords des microlentilles adjacentes de type L1 ne peut être supprimée (Cf. masque M20 fig. 16), par contre la distance entre les bords des microlentilles adjacentes de type L1 et de type L2 peut être supprimée grâce au
35 processus de gravure à deux couches de résine et l'utilisation de deux masques d'isolation. Pour cela, il suffit que le diamètre des zones sombres M(L2) du masque

M21 présente un diamètre approprié. On obtient ainsi la matrice de microlentilles représentée sur la figure 18, dans laquelle les bords des microlentilles L1 sont accolés aux bords des microlentilles L2, le facteur de remplissage étant de l'ordre de 96%.

Enfin, les couches de résine 21, 22 sont de préférence réalisées avec la même résine, et présentent donc les mêmes propriétés optiques. Toutefois, dans une variante pouvant être explorée par l'homme de l'art, des résines ayant des indices optiques différents pourraient être utilisées afin de bénéficier d'un degré de liberté supplémentaire dans le choix des hauteurs des microlentilles.

Procédé 3, figures 19A à 19J

Ce procédé comprend, comme le procédé 2, le dépôt de deux couches de résine 21, 22. Ces couches sont impérativement réalisées ici avec des résines identiques, ayant les mêmes propriétés optiques (indice), pour des raisons qui apparaîtront plus loin.

Le procédé 3 se distingue du procédé 2 en ce que les pastilles P1 permettant de réaliser les microlentilles L1 ne sont pas gravées avant fluage pour obtenir la forme octogonale à bords arrondis. Ces pastilles sont réalisées avec un masque d'insolation M30, représenté en figure 20 (vue partielle), qui comporte des zones sombres M(L1) ayant un contour circulaire. Ainsi, après fluage des pastilles P1, on obtient des microlentilles L1 monofocales. Par ailleurs, les microlentilles de type L2 sont réalisées avec un masque d'insolation M31 représenté en figure 21 (vue partielle) qui est identique au masque M21 du procédé 2 (fig. 17), et ont également un contour circulaire. Pour obtenir la forme octogonale à bords arrondis qui caractérise les microlentilles L1 vues de dessus, les microlentilles L2 sont formées avec chevauchement sur les microlentilles L1.

Plus particulièrement, le procédé 3 comprend les étapes suivantes :

- dépôt de la couche de résine 21 sur une plaquette d'imageur 20 et cuisson douce de la couche de résine 21 (figure 19A),
- insolation de la couche de résine 21 à travers le masque M30 (figure 19B),
- retrait des parties insolées de la couche de résine 21 pour obtenir des pastilles de résine de type P1 ayant ici une base circulaire (figure 19C),
- fluage thermique des pastilles P1 pour obtenir des microlentilles du premier type L1 monofocales (figure 19D),
- durcissement des microlentilles L1 par recuit (figure 19E),
- dépôt d'une couche de résine 22 sur la plaquette d'imageur et cuisson douce de la couche de résine 22 (figure 19F),
- insolation de la couche de résine 22 à travers le masque M31 (figure 19G),
- retrait des parties insolées de la couche de résine 22, pour obtenir des pastilles de résine de type P2 qui recouvrent ici les bords des microlentilles L1 (figure 19H),
- fluage thermique des pastilles P2 pour obtenir les microlentilles du second type L2 (figure 19I),
- durcissement des microlentilles L2 par recuit (figure 19J),

La figure 23 est une vue de dessus de la matrice de microlentilles en cours de formation, après dépôt de la couche de résine 22 et avant gravure de celle-ci (étape illustrée par la figure 19F). Les microlentilles L1 sont partiellement recouvertes par la couche de résine 22 et seul les sommets des microlentilles émergent de la couche 22. Après gravure de la couche de résine 22, et fluage des pastilles P2, on obtient la matrice de microlentilles représentée en figure 24 qui, vue de dessus, est

identique à la matrice obtenue avec le procédé 2 (fig. 18).

La vue en coupe de la figure 22 est un schéma équivalent (au plan optique) de la matrice de microlentilles représentée sur les figures 19I ou 19J, suivant un axe de coupe correspondant au plus petit diamètre des microlentilles L1 (soit un axe passant par les zones de chevauchement). Ce schéma équivalent montre que le chevauchement des microlentilles L1 par les microlentilles L2 ne modifie pas les propriétés optiques des microlentilles, si celles-ci sont réalisées avec la même résine. Plus précisément, ce schéma équivalent représente des microlentilles L1 et L2 agencées côte à côte sans espacement et ayant des bords verticaux S1, S2 parallèles. En d'autres termes, la résine des microlentilles L1 qui est recouverte par la résine des microlentilles L2 fait partie des microlentilles L2 et non des microlentilles L1, d'un point de vue optique. Bien entendu, les bords verticaux représentés en figure 22 ne concernent que les zones de chevauchement : la face supérieure convexe des microlentilles L1, L2 a un profil en arc de cercle qui s'étend jusqu'à la base des microlentilles dans les régions sans chevauchement.

L'homme de l'art notera qu'en raison des régions de chevauchement, la surface active des microlentilles L2 est sensiblement diminuée par rapport à la surface active théorique correspondant au gabarit G2. Inversement, la surface active des microlentilles L1 est sensiblement augmentée par rapport à la surface active théorique correspondant à la surface du gabarit G1 moins la surface des zones de recouvrement avec le gabarit G2. Ainsi, les gabarits G1, G2 sont corrigés par rapport au modèle théorique au moment de leur conception, de manière à prendre en compte les variations de surface active dues aux régions de chevauchement.

Les figures 25 et 26 représentent respectivement les microlentilles L1 et L2 en coupe selon l'axe de coupe

de plus petit diamètre des microlentilles L1 et L2, ainsi que les distances focales respectives DF1 et DF2 de ces microlentilles, qui sont fonction de leurs hauteurs H1 et H2. Les microlentilles L1 ne présentent ici qu'un plan focal et leur distance focale DF1 est de préférence égale, sinon proche, de la distance focale DF2 des microlentilles L2.

Procédé 4, figures 27A à 27O

Ce dernier exemple de mise en œuvre de l'invention se distingue du procédé 3 en ce que trois couches de résine 21, 210, 22 sont utilisées et trois masques d'insolation M40, M210, M41 représentés sur les figures 28, 29, 30. La couche de résine 210 est une couche temporaire gravée au moyen du masque M210 pour former un masque de gravure P210 qui est supprimé après avoir été utilisé. Ce masque de gravure permet de graver les microlentilles L1 au moyen d'un plasma gazeux, pour conférer à la base des microlentilles L1 la forme octogonale à bords arrondis. Le masque M210 comporte ainsi, comme on le voit sur la figure 29, des zones sombres M(H) de forme octogonale à bords arrondis.

Le masque M40 est utilisé pour graver la couche de résine 21 et est identique au masque M30 du procédé 3. On obtient ainsi des pastilles P1 ayant un contour circulaire et les microlentilles L1 obtenues sont monofocales, bien qu'étant ensuite gravées au plasma pour présenter une base octogonale à bords arrondis. De même, le masque M41 est utilisé pour graver la couche de résine 22 et réaliser les microlentilles L2, et est identique au masque M31 du procédé 3.

Le procédé 4 comprend plus particulièrement les étapes suivantes :

- dépôt de la couche de résine 21 sur une plaquette d'imageur 20 et cuisson douce de la couche de résine 21 (figure 27A),
- insolation de la couche de résine 21 à travers le masque d'insolation M40 (figure 27B),

- retrait des parties insolées de la couche de résine 21 pour obtenir les pastilles de résine P1 à contour circulaire (figure 27C),
- fluage thermique des pastilles P1 pour obtenir des
5 microlentilles L1 monofocales présentant une base circulaire (figure 27D),
- durcissement des microlentilles L1 par recuit (figure 27E),
- dépôt de la couche de résine de masquage 210 sur la
10 plaquette d'imageur et cuisson douce de la couche de résine (figure 27F),
- insolation de la couche de résine 210 à travers le masque d'insolation M210 (figure 27G),
- retrait des parties insolées de la couche 210, pour
15 l'obtention du masque de gravure en résine P210 qui est l'image du masque d'insolation M210 et comprend des régions de forme octogonale à bords arrondis qui couvrent les microlentilles L1 (figure 27H, et forme du masque d'insolation M210 en figure 29),
- 20 - gravure au plasma des microlentilles L1 à travers le masque de gravure en résine P210, de manière que les microlentilles L1 présentent une base octogonale à côtés arrondis (figure 27I),
- retrait au moyen d'un solvant organique des résidus du
25 masque de gravure en résine (figure 27J) (une partie de l'épaisseur du masque de gravure ayant été détruite pendant la gravure au plasma),
- dépôt de la couche de résine 22 sur la plaquette
30 d'imageur et cuisson douce de la couche de résine 22 (figure 27K),
- insolation de la couche de résine 22 à travers le masque d'insolation M41 (figure 27L),
- retrait des parties insolées de la couche 22, pour obtenir des pastilles de résine P2 (figure 27M),
- 35 - fluage thermique des pastilles P2 pour obtenir les microlentilles L2 (figure 27N), et

- durcissement des microlentilles par recuit (figure 270).

Il apparaît sur les figures 27J à 27O que la gravure au plasma confère aux microlentilles L1 des flancs droits verticaux dans les zones de recouvrement des gabarits G1, G2. La matrice de microlentilles vue de dessus est identique à la matrice obtenue avec les procédés 2 et 3, comme représenté sur la figure 31.

Les figures 32 et 33 représentent respectivement les microlentilles L1 et L2 en coupe selon l'axe de coupe de plus petit diamètre des microlentilles L1 et représentent également les distances focales DF1 et DF2 des microlentilles L1 et L2, qui sont fonction de leurs hauteurs H1 et H2. Comme avec le procédé 2, les microlentilles L1 ne présentent qu'un plan focal et leur distance focale DF1 est de préférence égale, sinon proche, de la distance focale DF2 des microlentilles L2.

Il apparaît clairement à l'homme de l'art que diverses autres variantes de réalisation de ces procédés peuvent être prévues, et qu'une matrice de microlentilles peut également être réalisée avec d'autres procédés de dépôt et de formation de microlentilles.

La structure de matrice de microlentilles selon l'invention est elle-même susceptible de modifications, notamment en fonction de la répartition des photosites à la surface de l'imageur. Par exemple, certains imageurs présentent une densité de photosites plus importante au centre ou sur les bords, pour réaliser des photographies à densité de pixel constante avec un objectif "fisheye" (objectif grand angle pouvant atteindre 180°). Dans ce cas, les zones de l'imageur ayant une moindre densité de photosites peuvent être couvertes avec une structure de matrice de microlentilles classique, et les zones ayant une plus grande densité de photosites peuvent être couvertes avec une structure de matrice de microlentilles selon l'invention. On obtient une matrice de microlentilles hybride comprenant une répartition

différente des microlentilles de type L1 et de type L2 selon les zones de la matrice. Toute autre combinaison de microlentilles L1, L2 peut également être prévue, par exemple une combinaison L2-L2/L1/L2-L2, une combinaison
5 L1-L1/L2-L2-L2/L1-L1, etc. (le signe "/" représentant l'existence d'une zone de recouvrement, et "-" l'absence de zone de recouvrement).

REVENDEICATIONS

1. Imageur CMOS comprenant une matrice de photosites et une matrice de microlentilles, caractérisé en ce que :

- la matrice de microlentilles comprend des microlentilles d'un premier type (L1) et des microlentilles d'un second type (L2),
- les microlentilles du premier type (L1) sont réalisées suivant un premier gabarit circulaire (G1) présentant un premier rayon (R1),
- les microlentilles du second type (L2) sont réalisées suivant un second gabarit circulaire (G2) présentant un second rayon (R2) inférieur au premier rayon (R1), et
- les premier (G1) et second (G2) gabarits présentent des zones de recouvrement.

15

2. Imageur selon la revendication 1, dans lequel :

- les zones de recouvrement des gabarits (G1, G2) sont occupées par les microlentilles du second type (L2), et
- les microlentilles du premier type (L1) présentent une base octogonale à côtés arrondis (S11, S12, S13, S14, S15, S16, S17, S18) et n'occupent pas les zones de recouvrement.

20

3. Imageur selon la revendication 1, dans lequel les microlentilles du second type (L2) recouvrent les microlentilles du premier type (L1) dans les zones de recouvrement des gabarits.

25

4. Imageur selon la revendication 2, dans lequel les microlentilles du premier type (L1) sont multifocales et les microlentilles du second type (L2) sont monofocales.

30

5. Imageur selon l'une des revendications 2 et 3, dans lequel les microlentilles du premier type (L1) et du second type (L2) sont monofocales.

5 6. Imageur selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel les rayons (R1, R2) des premier (G1) et second (G2) gabarits sont tels que la surface du premier gabarit (G1) moins la surface des zones de recouvrement est égale à la surface du second gabarit (G2).

10

7. Imageur selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel les microlentilles du premier type (L1) sont réparties en alternance avec les microlentilles du second type (L2) selon un pas constant Pch, et le rayon du
15 premier gabarit (G1) est égal à une valeur R1 satisfaisant l'équation suivante :

$$R1 = 1/2(\sqrt{2 * Pch - \epsilon})$$

20 dans laquelle ϵ est une distance de séparation entre les bords de deux microlentilles contiguës du premier type (L1).

8. Imageur selon l'une des revendications 1 à 6,
25 comprenant entre les bords les plus rapprochés des microlentilles du premier type (L1) et des microlentilles du second type (L2), une distance de séparation (ϵ) égale à une tolérance (ϵ_{min}) du procédé de fabrication de l'imageur.

30

9. Imageur selon l'une des revendications 1 à 8 comprenant, entre les bords les plus rapprochés des microlentilles du premier type (L1) et des microlentilles du second type (L2), une distance de séparation nulle-ou
35 inférieure à une tolérance (ϵ_{min}) du procédé de fabrication de l'imageur.

10. Appareil portatif, notamment téléphone mobile, appareil photographique ou caméra vidéo, comprenant un imageur selon les revendications 1 à 9.

5 11. Procédé de fabrication d'un imageur CMOS comprenant une matrice de photosites, comprenant une étape de fabrication d'une matrice de microlentilles sur une face de l'imageur, caractérisé en ce que l'étape de fabrication de la matrice de microlentilles comprend une
10 étape de fabrication de microlentilles d'un premier type (L1) et une étape de fabrication de microlentilles d'un second type (L2), et en ce que :

- les microlentilles du premier type (L1) sont réalisées suivant un premier gabarit circulaire (G1) présentant un
15 premier rayon (R1),
- les microlentilles du second type (L2) sont réalisées suivant un second gabarit circulaire (G2) présentant un second rayon (R2) inférieur au premier rayon (R1), et
- les premier (G1) et second (G2) gabarits présentent des
20 zones de recouvrement.

12. Procédé selon la revendication 11, dans lequel les microlentilles du premier type (L1) sont fabriquées de manière à présenter une base octogonale à côtés
25 arrondis (S11, S12, S13, S14, S15, S16, S17, S18) et ne s'étendent pas dans les zones de recouvrement des premier (G1) et second (G2) gabarits.

13. Procédé selon la revendication 12, comprenant
30 une étape de fabrication de pastilles de résine (P1) ayant un contour octogonal à côtés arrondis (S11, S12, S13, S14, S15, S16, S17, S18), et une étape de fluage des pastilles pour obtenir les microlentilles du premier type (L1).

35

14. Procédé selon la revendication 12, comprenant une étape de fabrication de microlentilles du premier

type (L1) ayant un contour circulaire, et une étape de gravure des microlentilles du premier type de manière que les microlentilles du premier type présentent une base octogonale à côtés arrondis.

5

15. Procédé selon la revendication 11, dans lequel les microlentilles du second type (L2) sont réalisées après les microlentilles du premier type (L1) et recouvrent les microlentilles du premier type dans les zones de recouvrement des gabarits (G1, G2).

10

16. Procédé selon l'une des revendications 11 à 15, comprenant une étape de calcul préalable des rayons (R1, R2) des premier (G1) et second (G2) gabarits, de manière que la surface du premier gabarit (G1) moins la surface des zones de recouvrement soit égale à la surface du second gabarit (G2).

15

17. Procédé selon l'une des revendications 11 à 16, dans lequel les microlentilles du premier type (L1) sont réparties en alternance avec les microlentilles du second type (L2) selon un pas constant Pch, et comprenant une étape de détermination d'un rayon R1 du premier gabarit (G1) satisfaisant l'équation suivante :

20

$$R1 = 1/2(\sqrt{2 * Pch - \epsilon})$$

dans laquelle ϵ une distance entre les bords de deux microlentilles contiguës du premier type (L1).

25

18. Procédé selon l'une des revendications 11 à 17, dans lequel l'étape de fabrication de microlentilles du premier type (L1) et l'étape de fabrication de microlentilles du second type (L2) sont simultanées.

30

19. Procédé selon la revendication 18, comprenant les étapes suivantes :

35

- dépôt d'une couche de résine sur une plaquette d'imageur (fig. 8A),
- insolation de la couche de résine à travers un masque d'insolation (fig. 8B),
- 5 - retrait des parties insolées de la couche de résine, pour obtenir des pastilles de résine d'un premier type (P1) et d'un second type (P2, fig. 8C), et
- fluage thermique des pastilles du premier type (P1) et du second type (P2), pour obtenir des microlentilles du
- 10 premier type (L1) et du second type (L2, fig. 8D).

20. Procédé selon l'une des revendications 11 à 17, dans lequel l'étape de fabrication de microlentilles du second type (L1) est conduite après l'étape de

15 fabrication des microlentilles du premier type (L1).

21. Procédé selon la revendication 20, comprenant les étapes suivantes :

- dépôt d'une première couche de résine sur une plaquette
- 20 d'imageur (fig. 15A, 19A),
- insolation de la première couche de résine à travers un premier masque d'insolation (fig. 15B, 19B),
- retrait des parties insolées de la couche de résine, pour obtenir des pastilles de résine d'un premier type
- 25 (P1, fig. 15C, 19C),
- fluage thermique des pastilles pour obtenir des microlentilles du premier type (L1, fig. 15D, 19D),
- dépôt d'une seconde couche de résine sur la plaquette d'imageur (fig. 15F, 19F),
- 30 - insolation de la seconde couche de résine à travers un second masque d'insolation (fig. 15G, 19G),
- retrait des parties insolées de la couche de résine, pour obtenir des pastilles de résine d'un second type (P2, fig. 15H, 19H), et
- 35 - fluage thermique des pastilles du second type pour obtenir les microlentilles du second type (L2, fig. 15I, 19I).

22. Procédé selon la revendication 21, dans lequel le premier masque d'insolation est conformé de manière que les pastilles de résine du premier type présentent un contour octogonal à côtés arrondis.

23. Procédé selon la revendication 20, comprenant les étapes suivantes :

- dépôt d'une première couche de résine sur une plaquette d'imageur (fig. 27A),
- insolation de la première couche de résine à travers un premier masque d'insolation (fig. 27B),
- retrait des parties insolées de la couche de résine, pour obtenir des pastilles de résine d'un premier type (P1, fig. 27C) ayant un contour circulaire,
- fluage thermique des pastilles pour obtenir des microlentilles du premier type (L1, fig. 27D) présentant une base circulaire,
- gravure des microlentilles du premier type (L1) de manière que les microlentilles du premier type présentent une base octogonale à côtés arrondis (fig. 27I),
- dépôt d'une seconde couche de résine sur la plaquette d'imageur (fig. 27K),
- insolation de la seconde couche de résine à travers un second masque d'insolation (fig. 27L),
- retrait des parties insolées de la résine, pour obtenir des pastilles de résine d'un second type (P2, fig. 27M), et
- fluage thermique des pastilles du second type pour obtenir les microlentilles du second type (L2, fig. 27N).

24. Procédé selon la revendication 23, dans lequel l'étape de gravure des pastilles du premier type (P1) est conduite au moyen d'un plasma gazeux.

25. Procédé selon l'une des revendications 23 et 24, dans lequel l'étape de gravure des pastilles du

premier type (P1) est conduite par l'intermédiaire d'un masque de gravure (P210) formé par dépôt d'une couche de résine de masquage (210) sur la plaquette d'imageur, insolation de la couche de résine de masquage à travers un masque d'insolation (M210, fig. 27G), retrait de la résine de masquage insolée, pour l'obtention du masque de gravure (P210, fig. 27H).

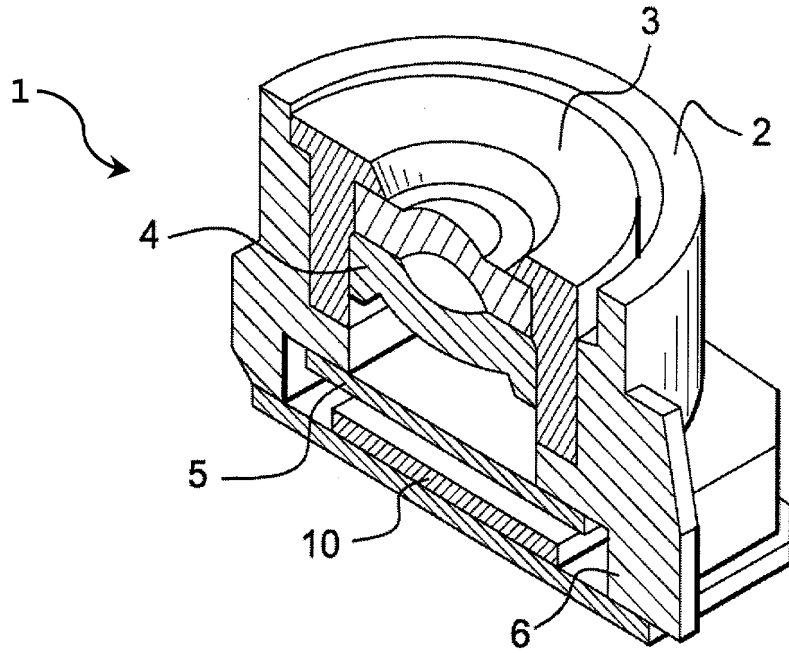


Fig. 1

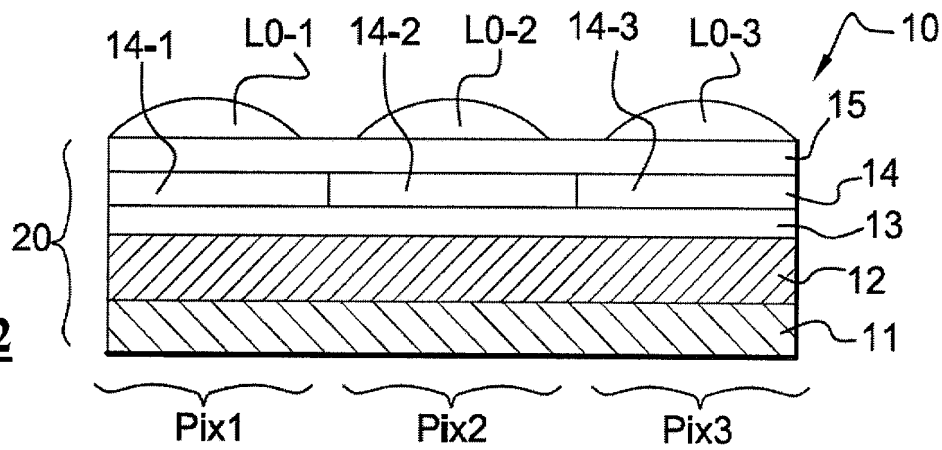


Fig. 2

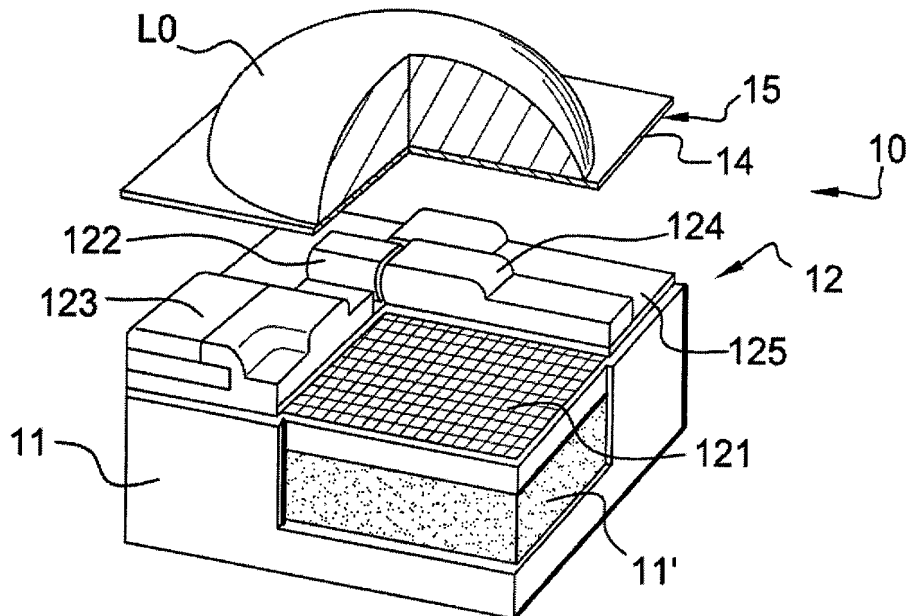
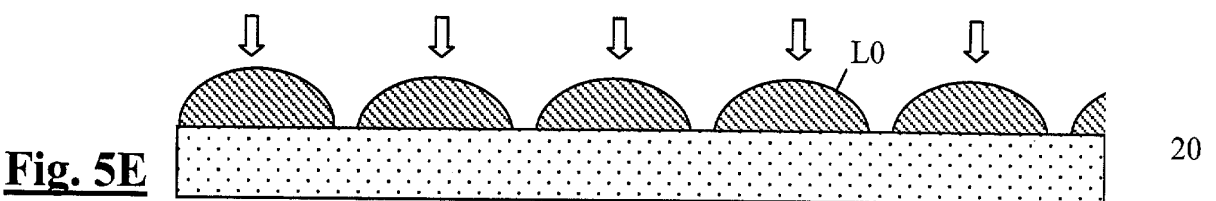
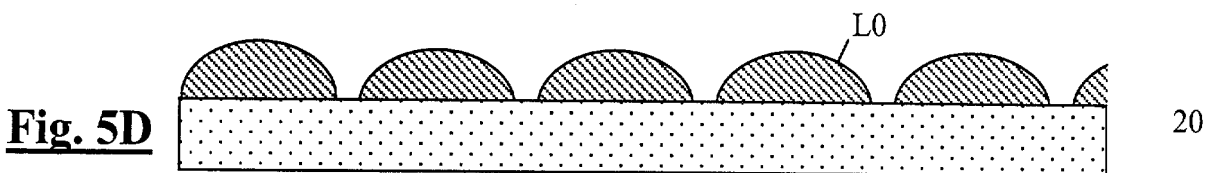
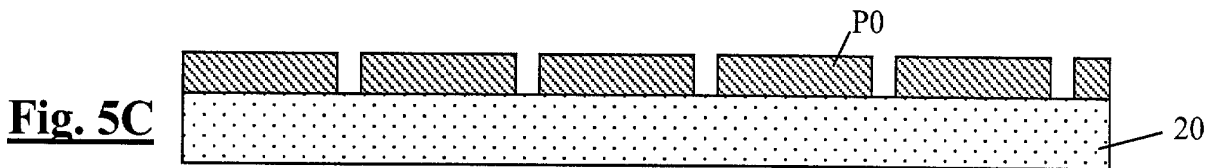
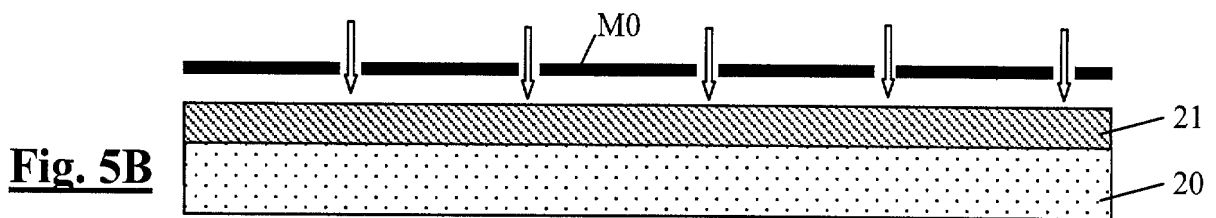
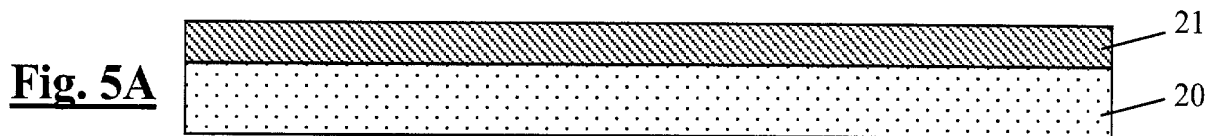
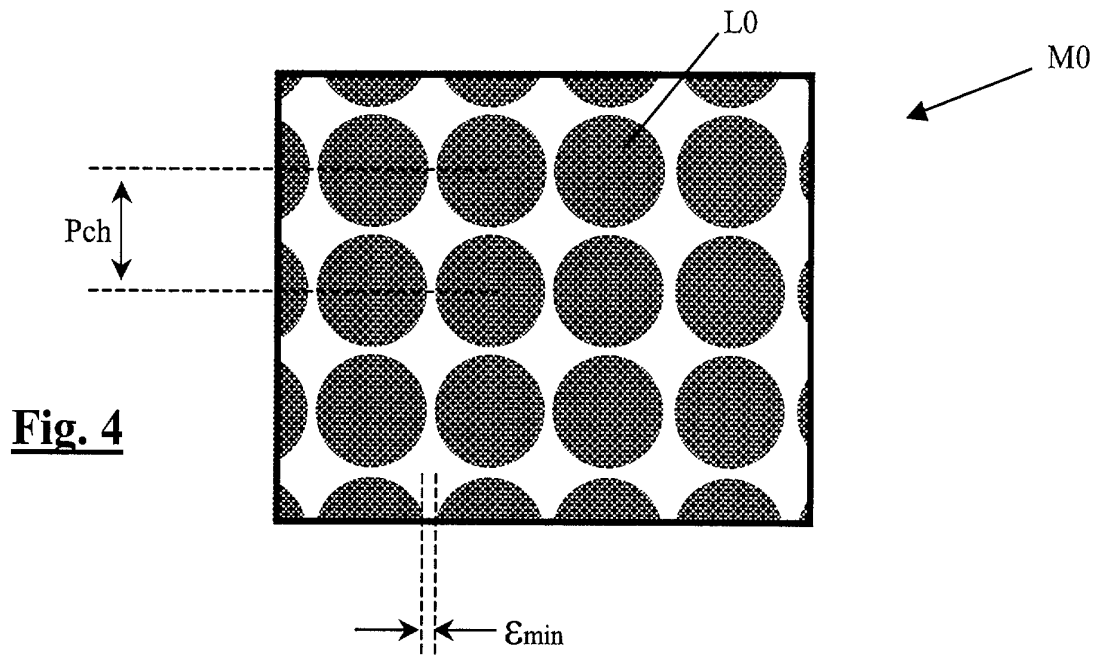


Fig. 3



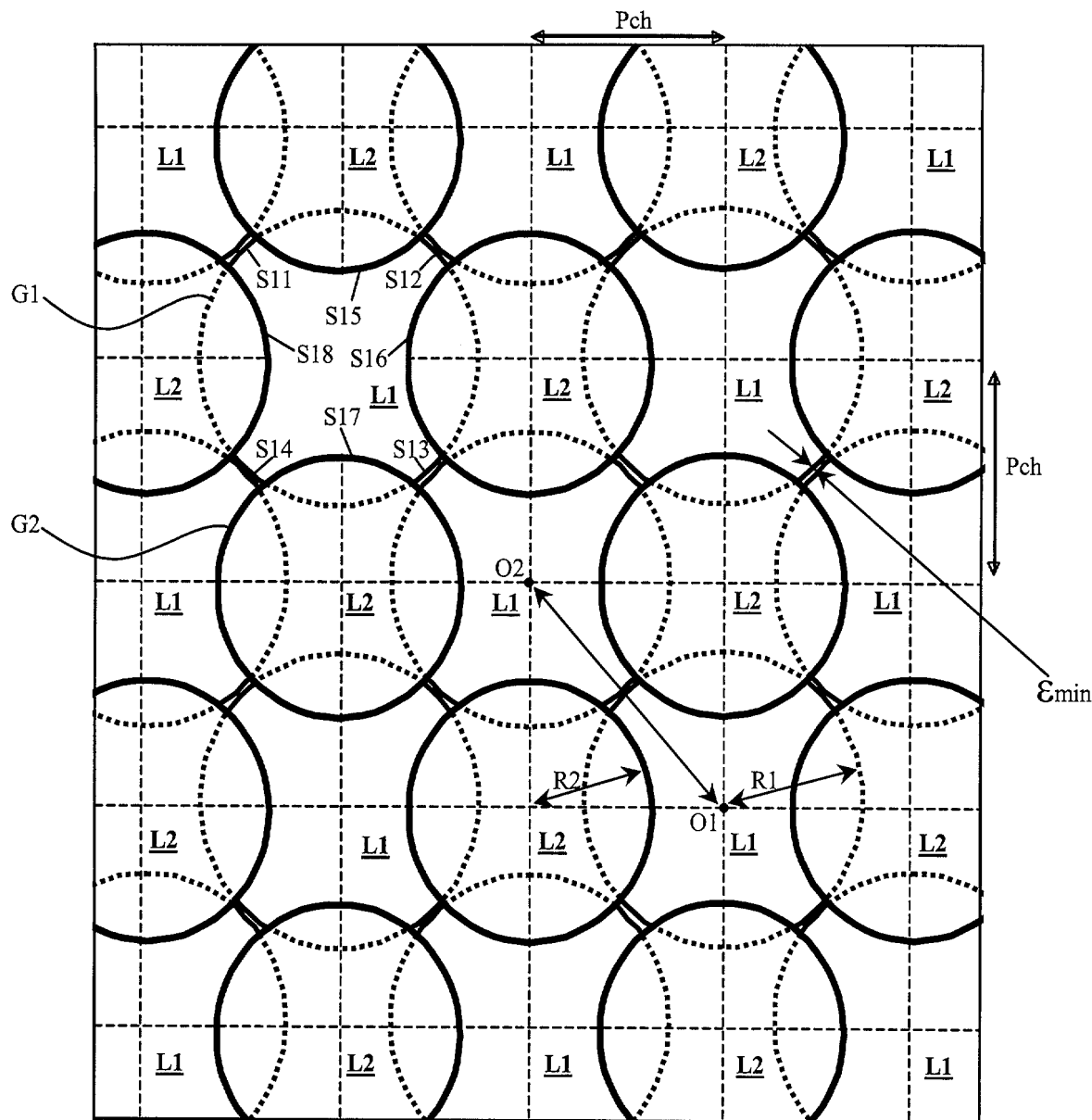


Fig. 6

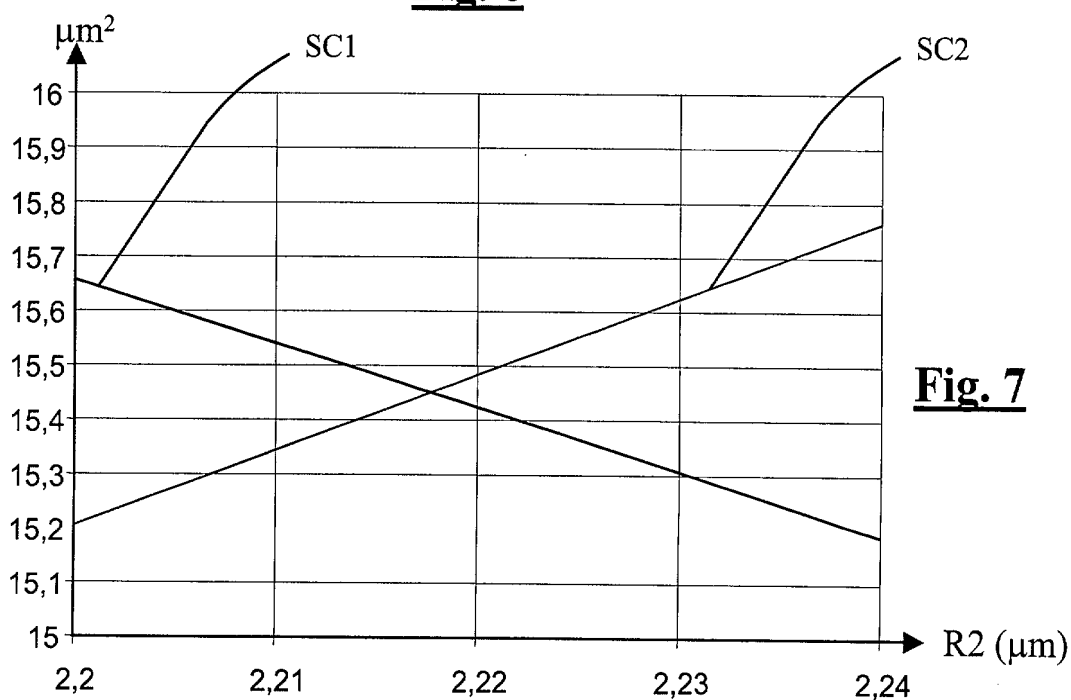


Fig. 7

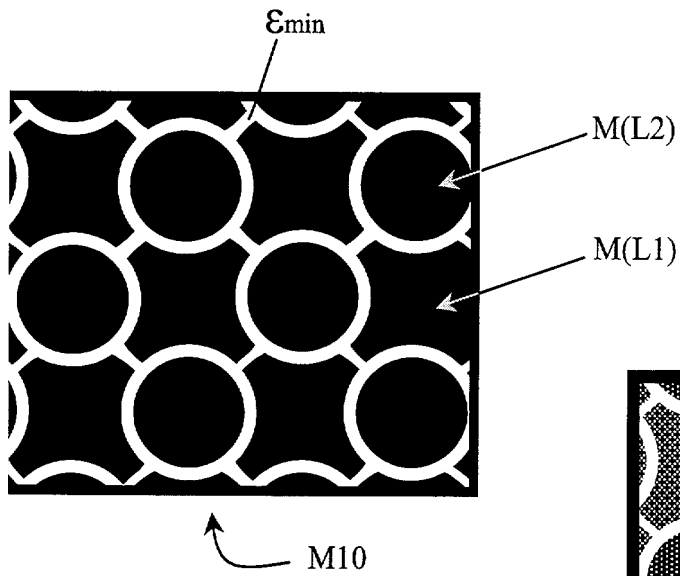
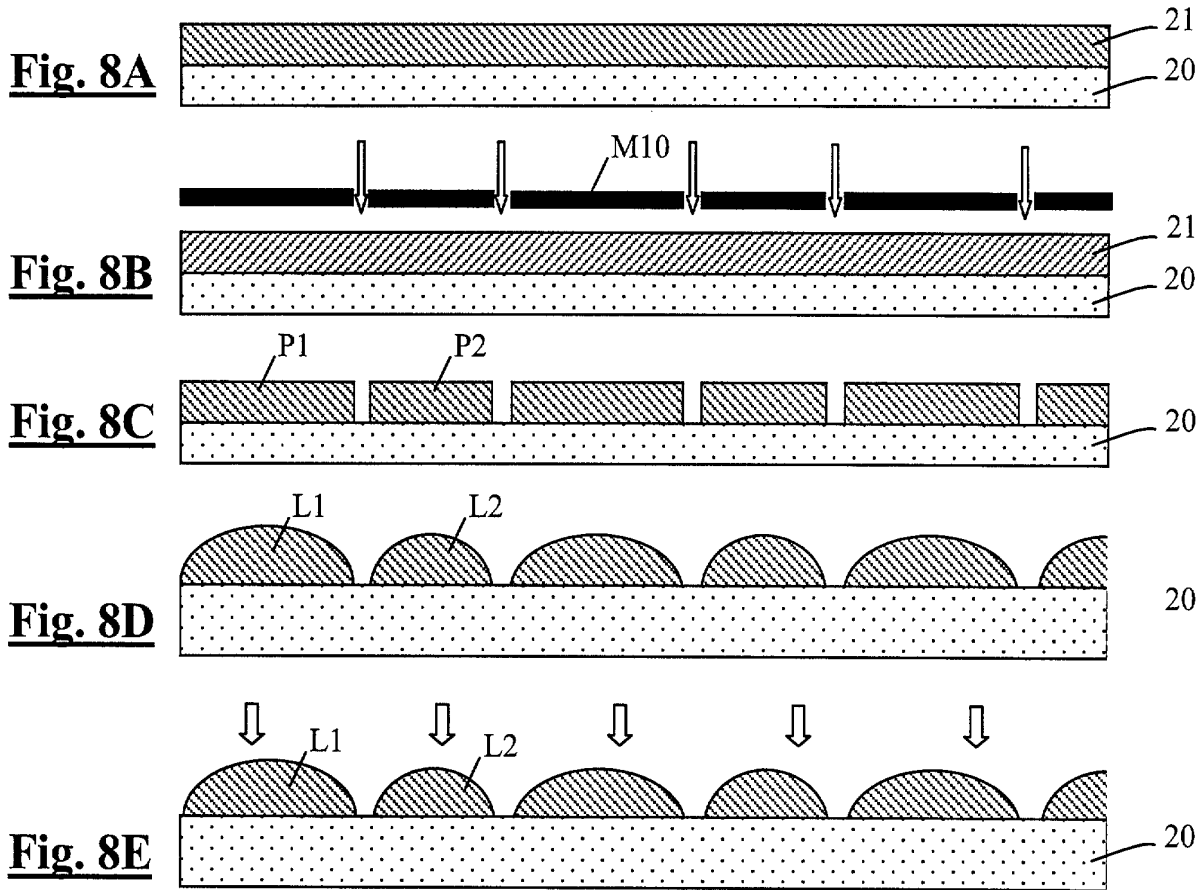


Fig. 9

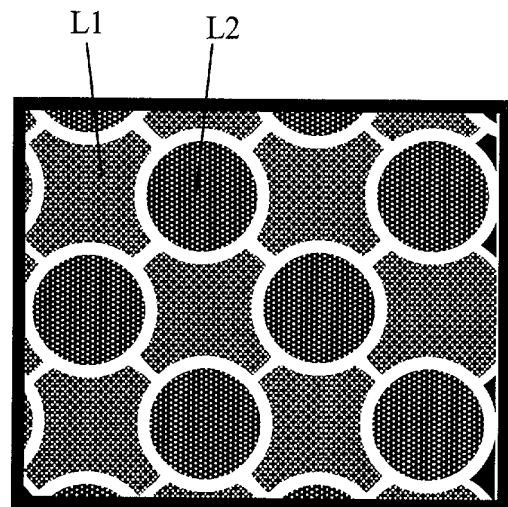


Fig. 10

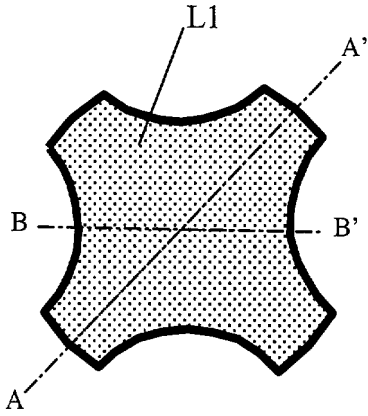


Fig. 11

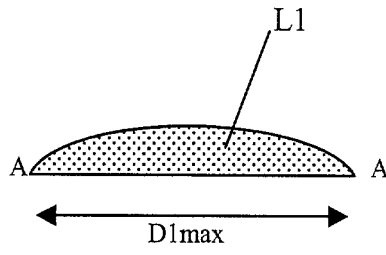


Fig. 12

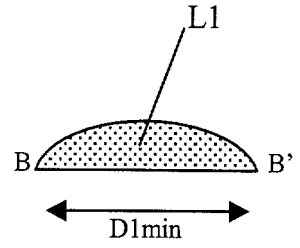


Fig. 13

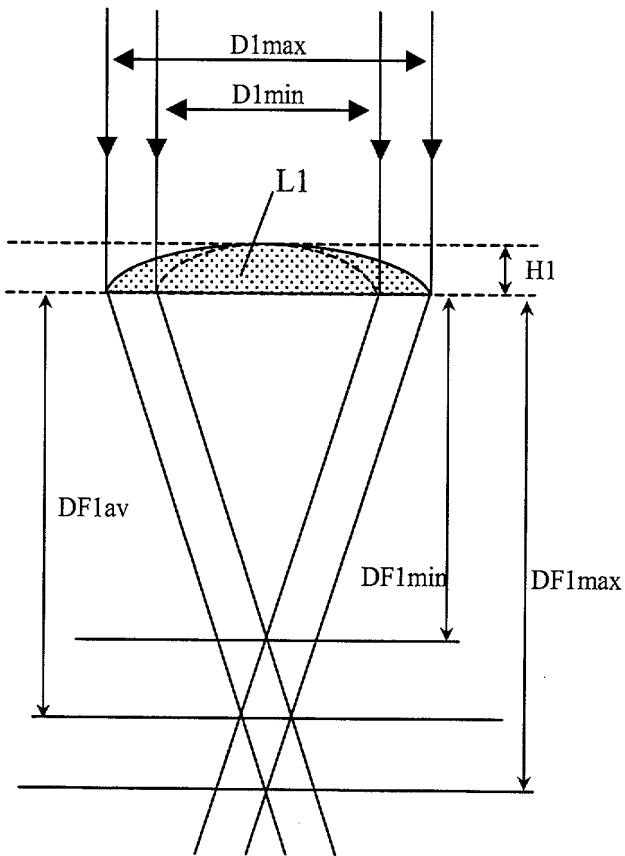


Fig. 13

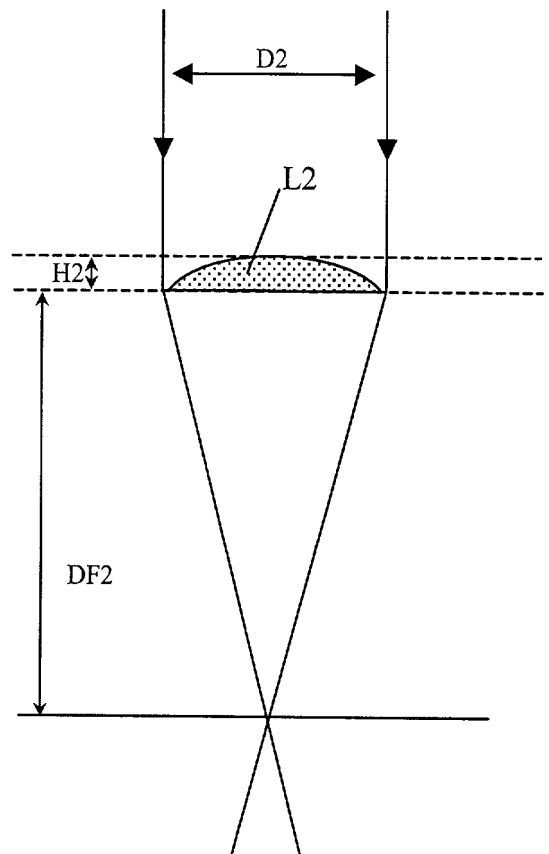
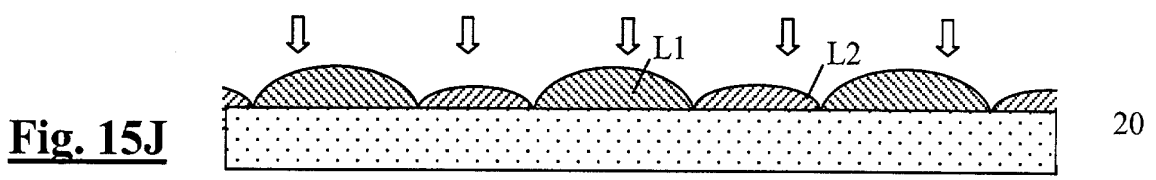
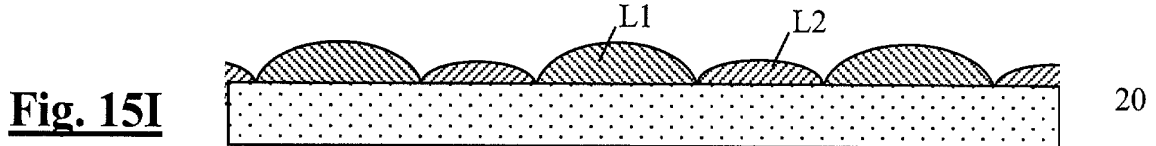
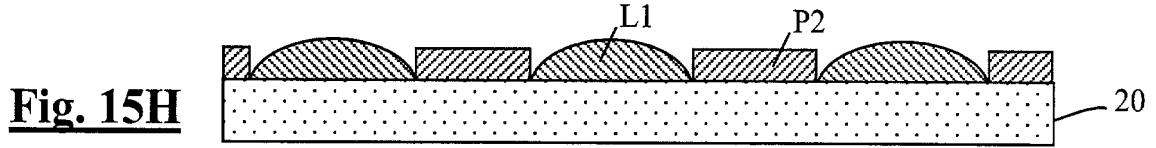
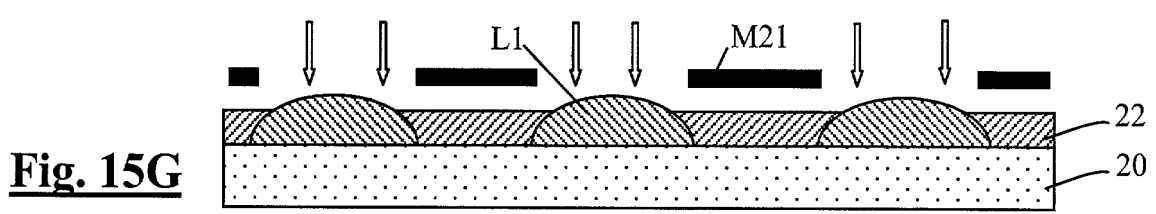
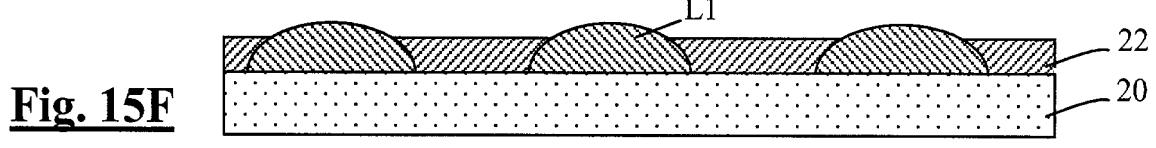
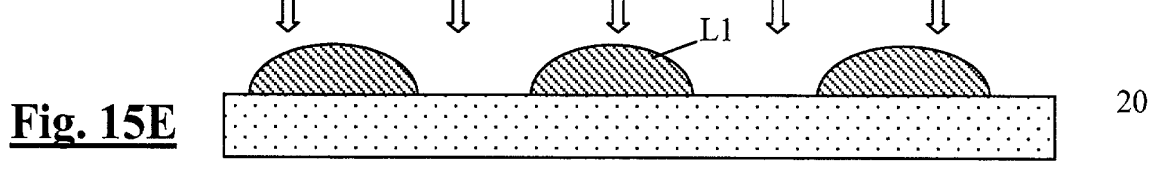
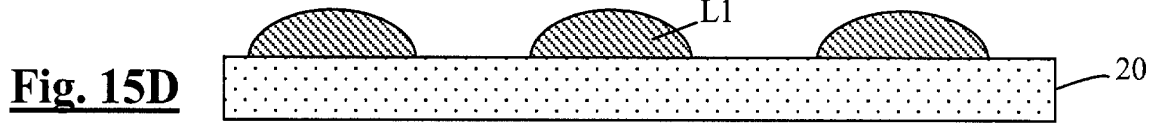
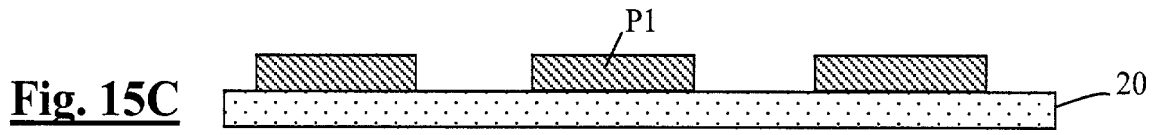
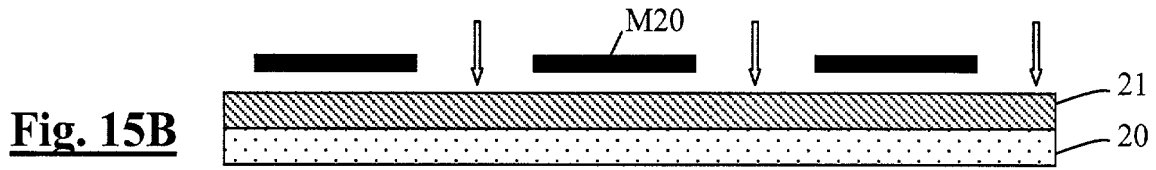
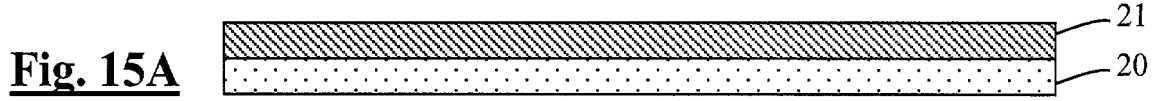


Fig. 14



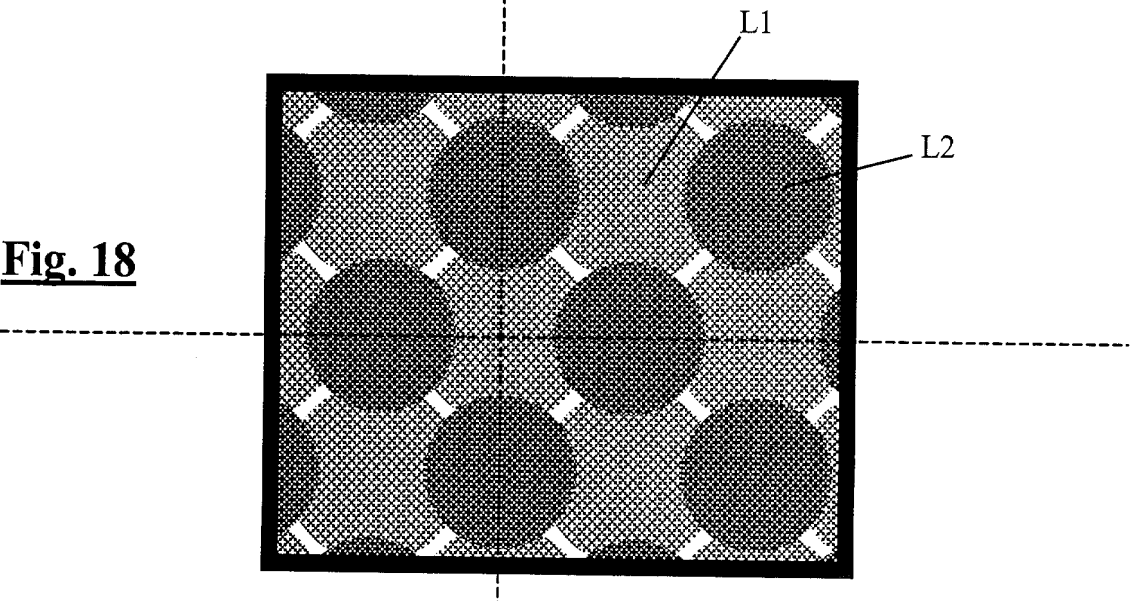
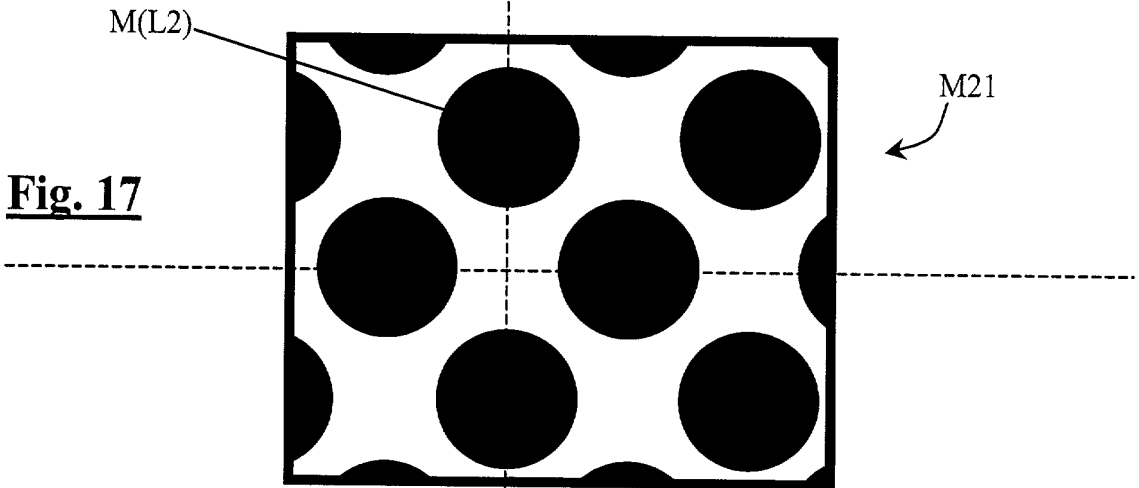
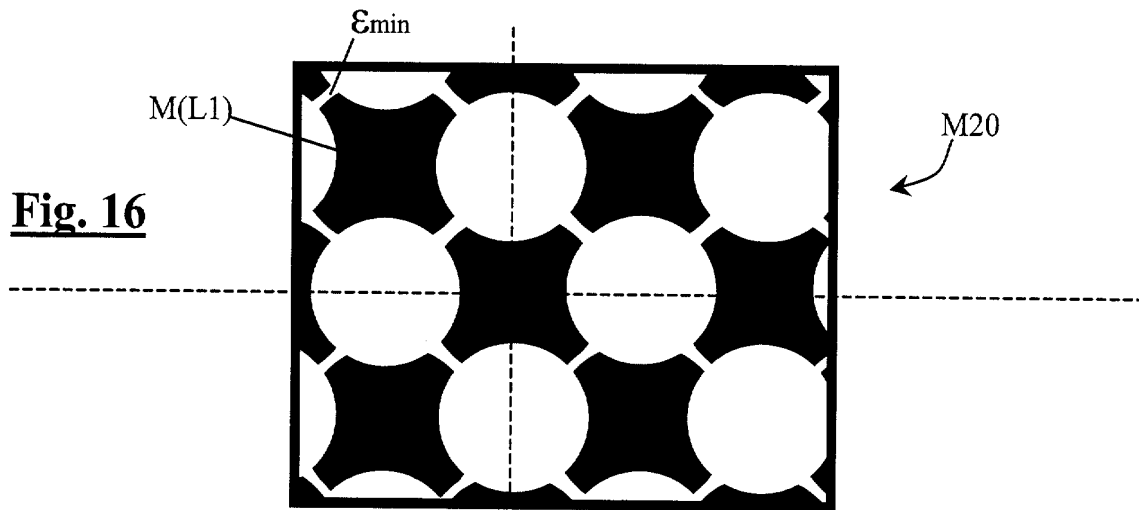


Fig. 19A

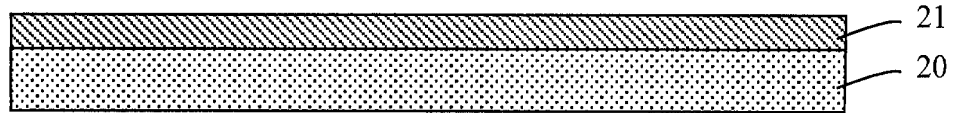


Fig. 19B

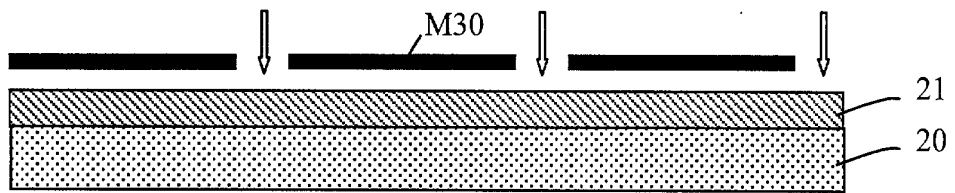


Fig. 19C

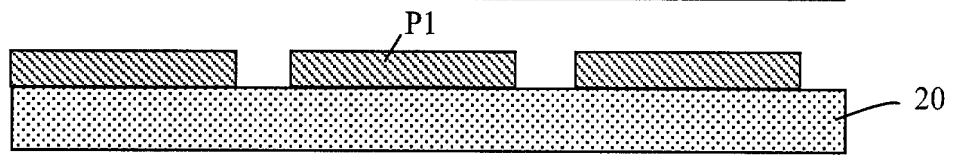


Fig. 19D

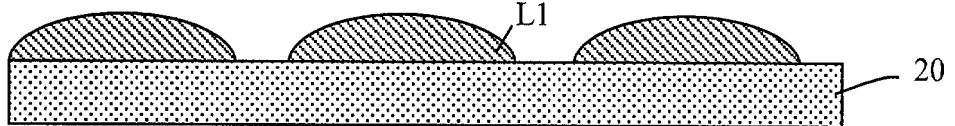


Fig. 19E

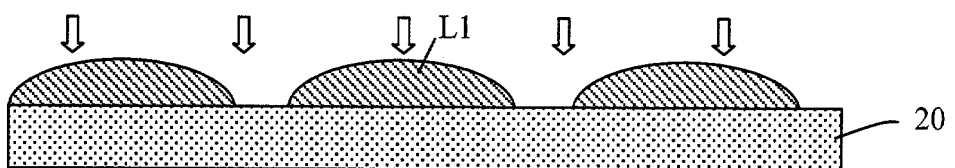


Fig. 19F

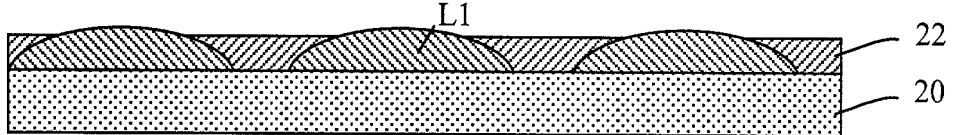


Fig. 19G

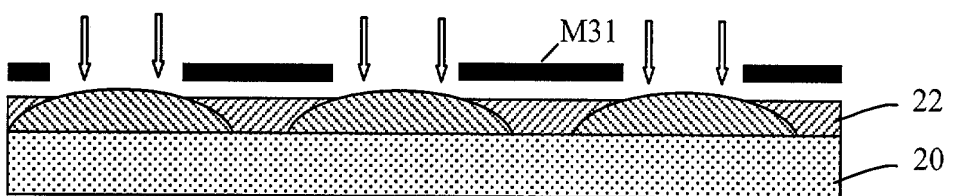


Fig. 19H

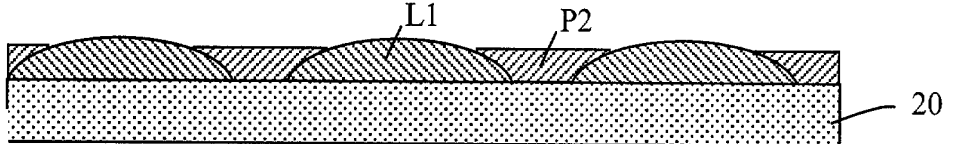


Fig. 19I

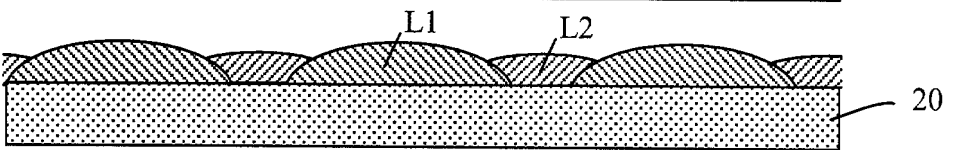


Fig. 19J

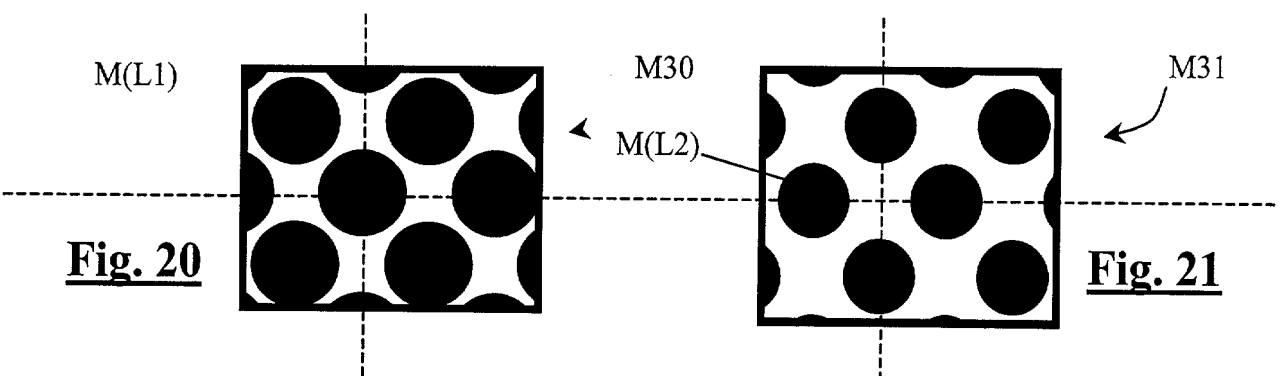
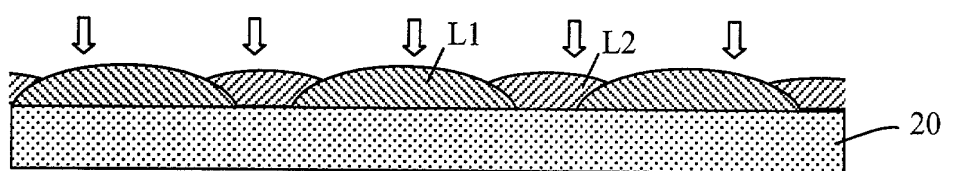


Fig. 20

Fig. 21

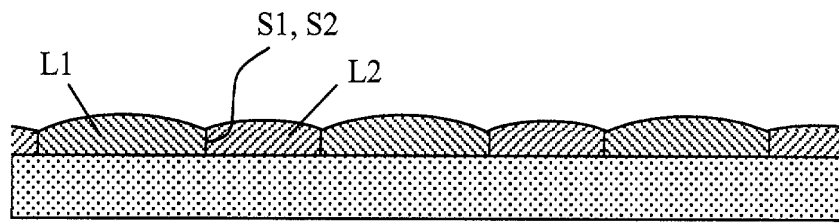


Fig. 22

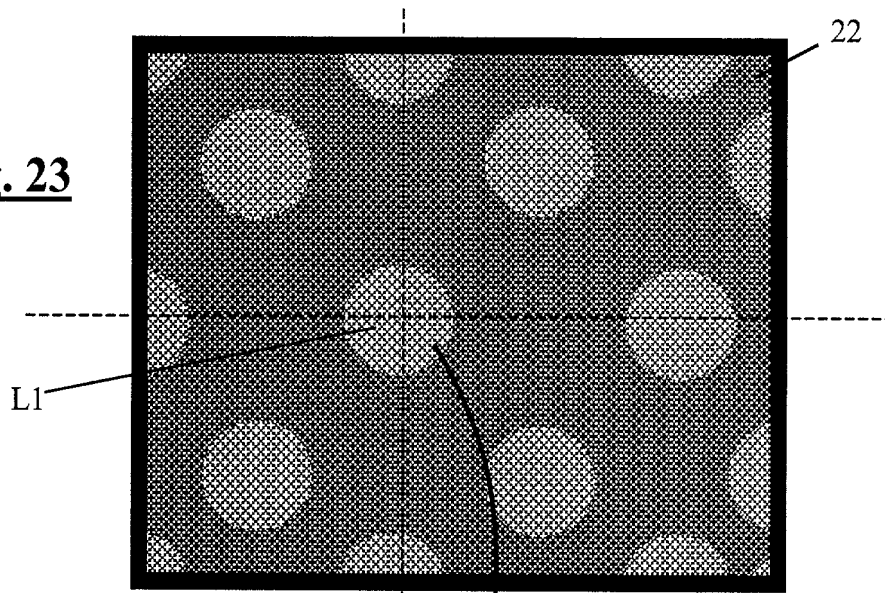


Fig. 23

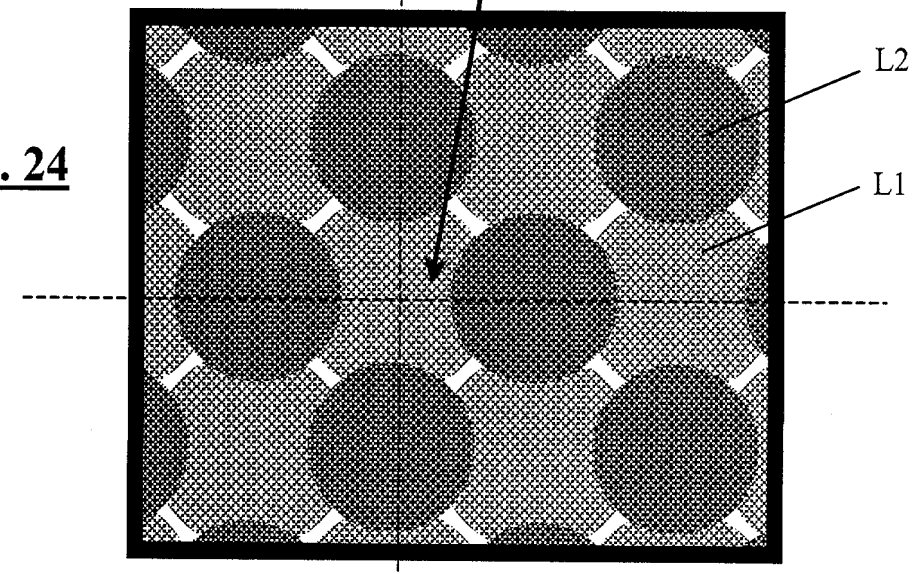


Fig. 24

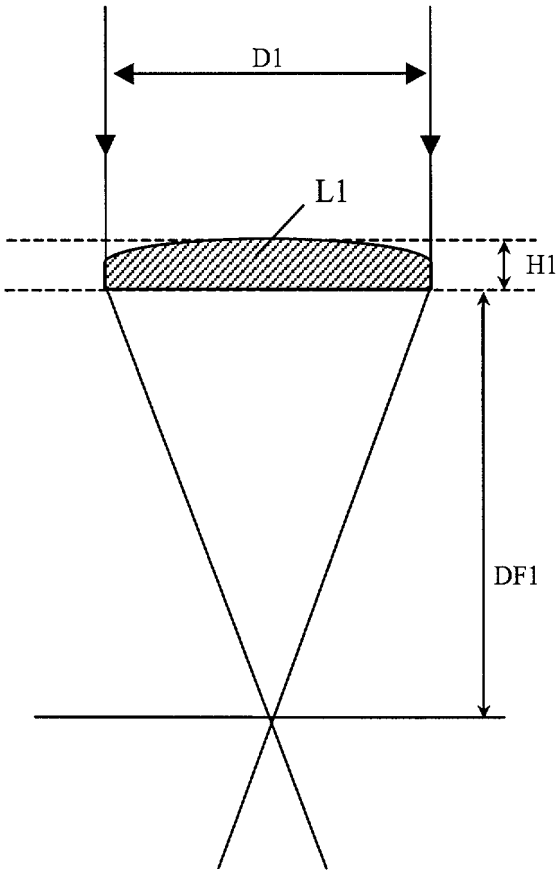


Fig. 25

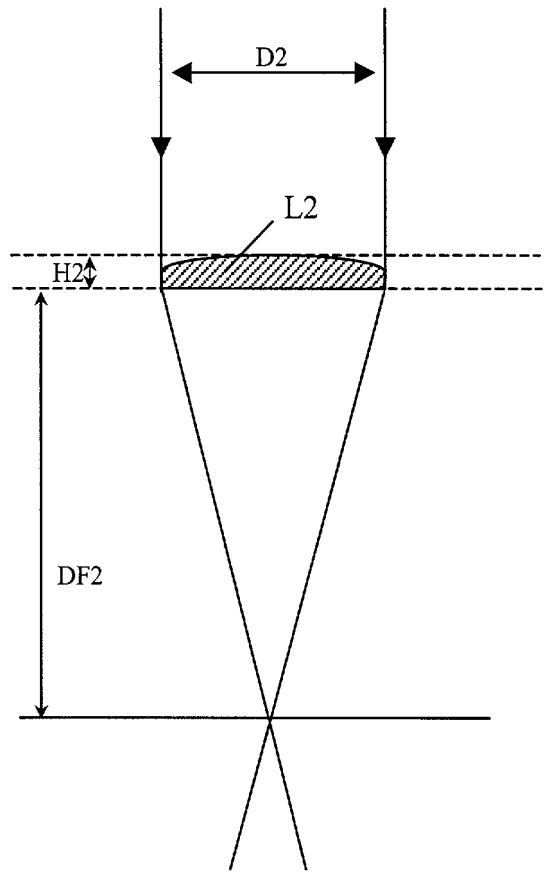


Fig. 26

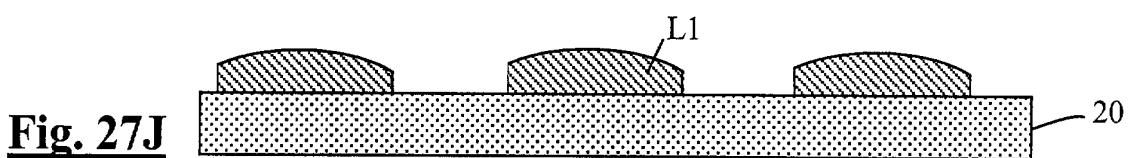
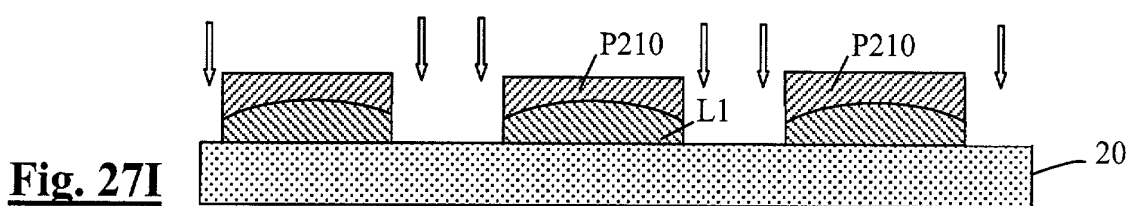
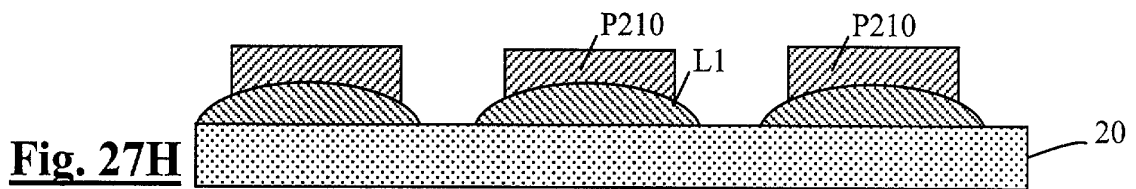
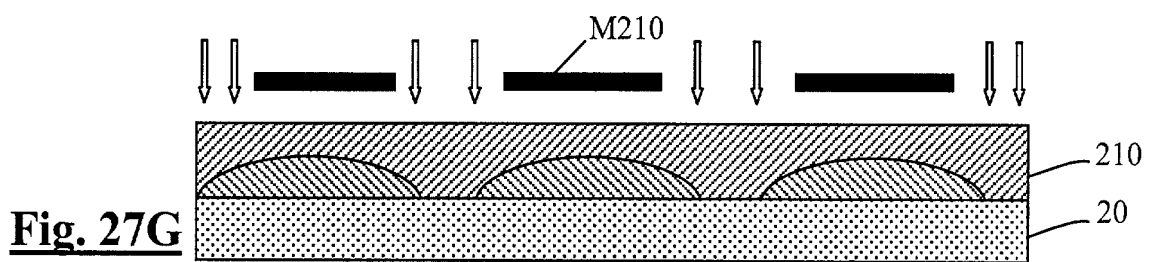
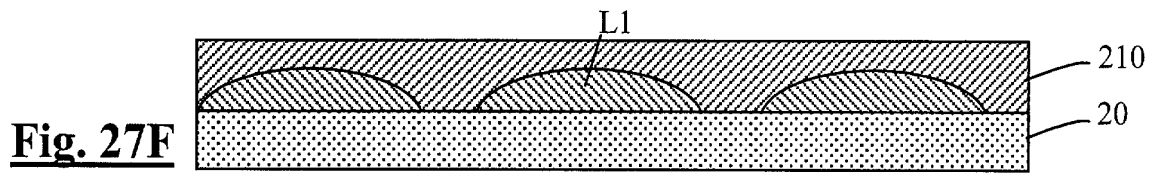
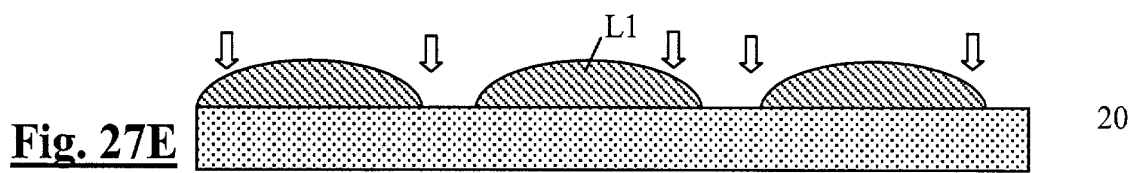
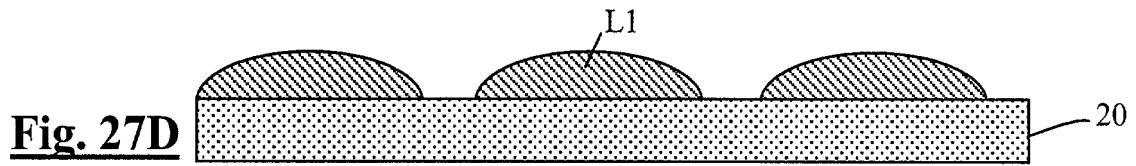
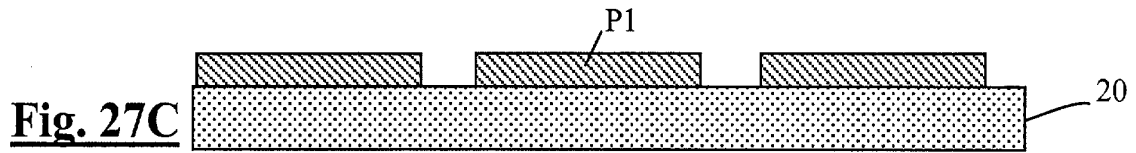
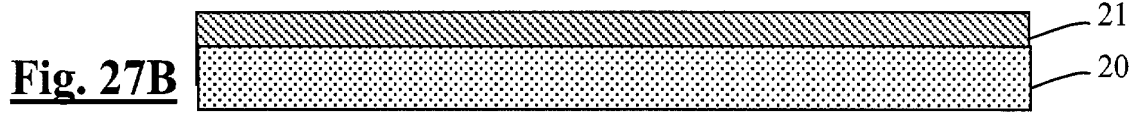
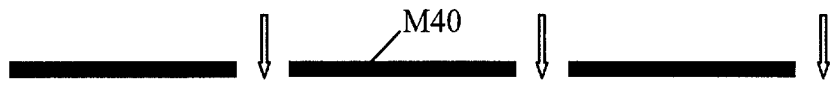
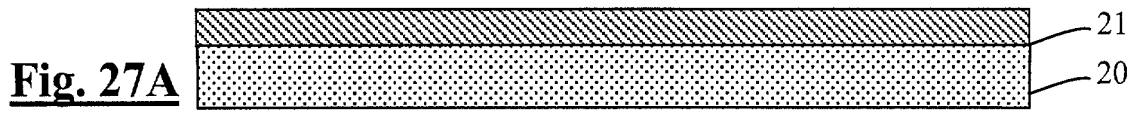


Fig. 27K

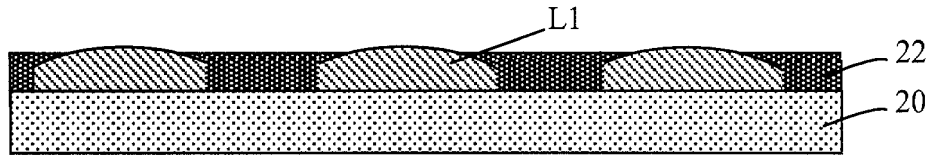


Fig. 27L

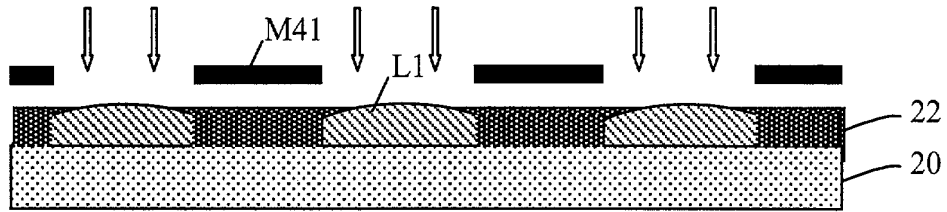


Fig. 27M

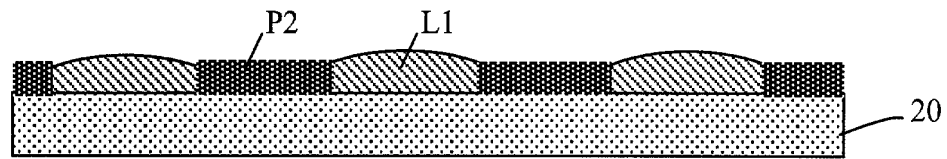


Fig. 27N

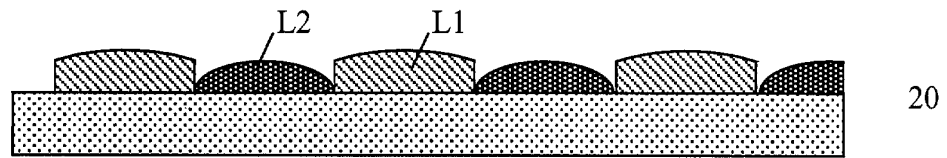


Fig. 27O

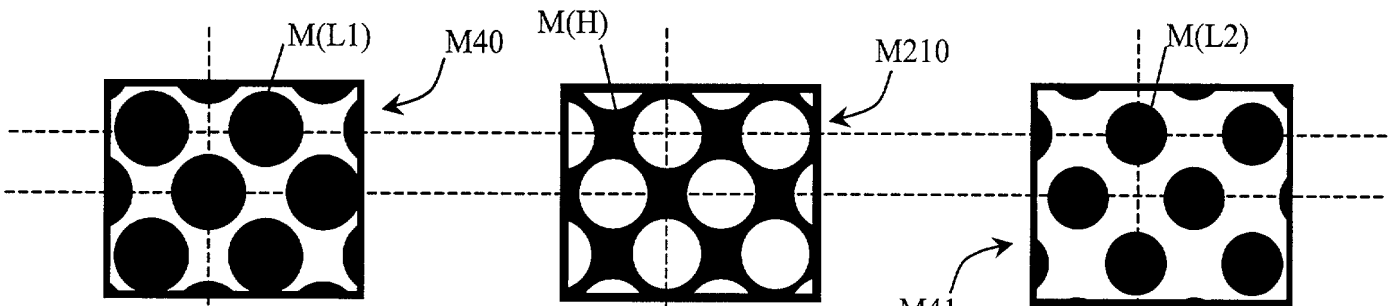
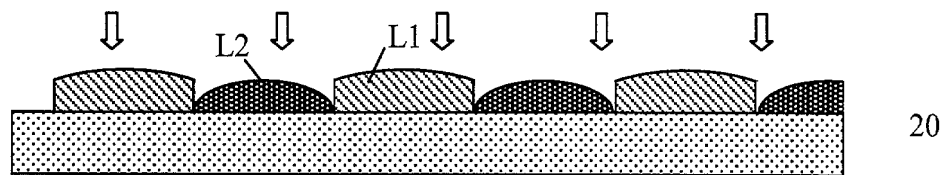


Fig. 28

Fig. 29

Fig. 30

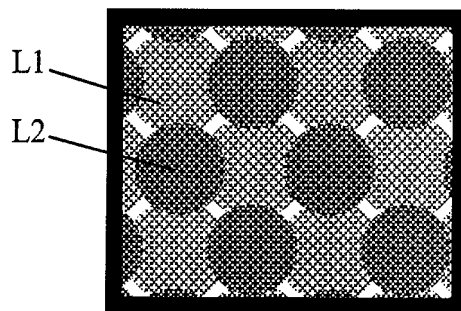


Fig. 31

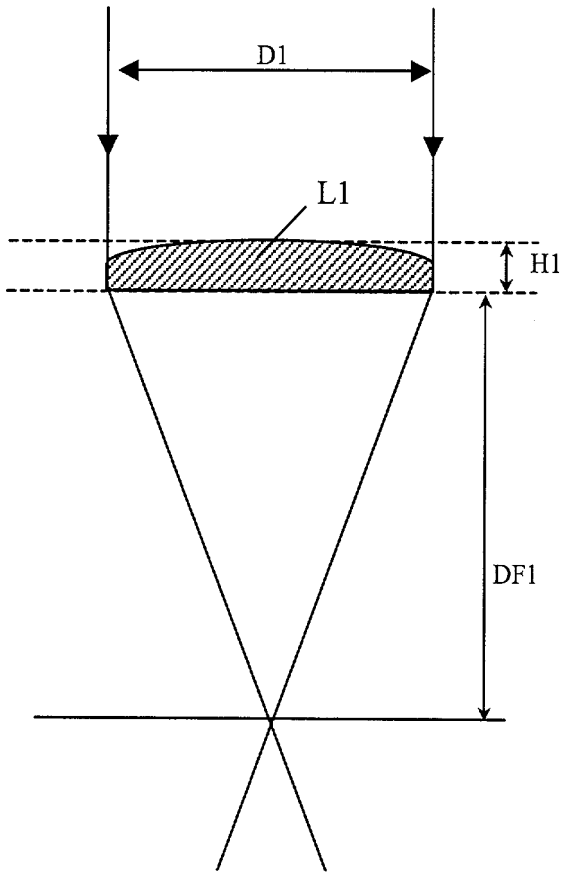


Fig. 32

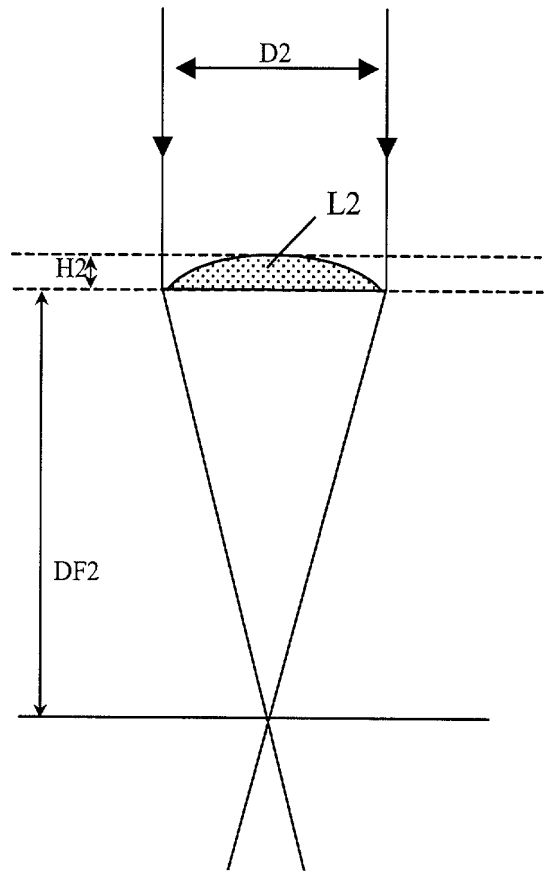


Fig. 33



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE PARTIEL**

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

N° d'enregistrement
national

FA 673340
FR 0512137

voir FEUILLE(S) SUPPLÉMENTAIRE(S)

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendications concernées	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
X	US 2005/078377 A1 (LI JIN ET AL) 14 avril 2005 (2005-04-14) * alinéas [0005], [0025] - [0033], [0047] * * figures 6-8 *	1,3-11, 16,17	G02B3/00 H01L27/146
Y	-----	2,12	
X	US 2005/110104 A1 (BOETTIGER ULRICH C ET AL) 26 mai 2005 (2005-05-26) * figures 2G,4 * * alinéas [0018], [0026] - [0028] *	1,11	
Y	-----	2,12	
A	CHOU M-C ET AL: "A novel method to fabricate gapless hexagonal micro-lens array" SENSORS AND ACTUATORS A, ELSEVIER SEQUOIA S.A., LAUSANNE, CH, vol. 118, no. 2, 28 février 2005 (2005-02-28), pages 298-306, XP004733559 ISSN: 0924-4247 * alinéa [0001]; figures 5,8 *	1,11	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G02B H01L
E	WO 2006/060298 A (MICRON TECHNOLOGY, INC; BOETTIGER, ULRICH, C; LI, JIN) 8 juin 2006 (2006-06-08) * figure 5 * * alinéas [0028] - [0037] * * revendication 3 *	1,11	
		----- -/--	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
21 juillet 2006		Hornung, A	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention	
X : particulièrement pertinent à lui seul		E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.	
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie		D : cité dans la demande	
A : arrière-plan technologique		L : cité pour d'autres raisons	
O : divulgation non-écrite		
P : document intercalaire		& : membre de la même famille, document correspondant	

2
EPO FORM 1503 12.99 (P04C35)



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE PARTIEL**

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

voir FEUILLE(S) SUPPLÉMENTAIRE(S)

N° d'enregistrement
national

FA 673340
FR 0512137

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendications concernées	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
E	WO 2006/066081 A (EASTMAN KODAK COMPANY; WAKE, RONALD, WARREN) 22 juin 2006 (2006-06-22) * page 8, ligne 14 - ligne 30 * * figures 7,10 * -----	1,11	
E	US 2006/027887 A1 (BOETTIGER ULRICH C ET AL) 9 février 2006 (2006-02-09) * alinéas [0023], [0030] - [0032] * * figure 1 * -----	1,11	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
		Date d'achèvement de la recherche	Examineur
		21 juillet 2006	Hornung, A
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITES		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire			

EPO FORM 1503 12.99 (P04C35) 2

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0512137 FA 673340**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 21-07-2006

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2005078377 A1	14-04-2005	US 2005128596 A1	16-06-2005
		US 2005280012 A1	22-12-2005
		US 2006023312 A1	02-02-2006
US 2005110104 A1	26-05-2005	AUCUN	
US 5536455 A	16-07-1996	US 5694246 A	02-12-1997
WO 2006060298 A	08-06-2006	US 2006119950 A1	08-06-2006
WO 2006066081 A	22-06-2006	US 2006131683 A1	22-06-2006
US 2006027887 A1	09-02-2006	AUCUN	

**ABSENCE D'UNITÉ D'INVENTION
FEUILLE SUPPLÉMENTAIRE B**

Numéro de la demande

FA 673340
FR 0512137

La division de la recherche estime que la présente demande de brevet ne satisfait pas à l'exigence relative à l'unité d'invention et concerne plusieurs inventions ou pluralités d'inventions, à savoir :

1. revendications: 1-12,16,17

Imageur CMOS comportant des microlentilles à gabarits circulaires différents

2. revendications: 13-15,18-25

Procédé de fabrication de microlentilles en utilisant simultanément ou séquentiellement le fluage et/ou la gravure des microlentilles.

La première invention a été recherchée.

La présente demande ne satisfait pas aux dispositions de l'article L.612-4 du CPI car elle concerne une pluralité d'inventions qui ne sont pas liées entre elles en formant un seul concept inventif général.

Les revendications 1-9 définissent un imageur CMOS comprenant des microlentilles ayant des gabarits de diamètre différent. La revendication 10 définit un appareil portatif comportant l'imageur de la revendication 1.

Les revendications 11-25 définissent un procédé de fabrication d'un imageur CMOS. En particulier, la revendication 11 définit en des termes générales un procédé de fabrication de l'imageur de la revendication 1. Certaines des revendications dépendantes de procédé définissent la manière comment un certain type de microlentilles est effectivement fabriqué: les revendications 13-15 et 18-25 définissent des étapes de procédés de fluage et de gravure, ainsi que leur déroulement temporelle. Ces étapes de procédés ne donnent pas lieu à des caractéristiques spécifiques de la configuration même des microlentilles.

Par conséquent, les revendications sont regroupées comme suit:

- a) revendications 1-12, 16 et 17, définissant la configuration des microlentilles et de leur gabarits, soit en définissant directement les microlentilles, soit en définissant leur procédé d'obtention correspondant;
- b) revendications 13-15 et 18-25, définissant les étapes précises des procédés de fabrication des microlentilles.

Les caractéristiques communes de ces deux groupes de revendications a) et b) sont celles des revendications 1 et 11. Cependant ces caractéristiques sont anticipées par le dispositif de D1 (voir point V.3. ci-dessous). Par conséquent, ces caractéristiques communes ne peuvent pas être considérées comme étant des "éléments techniques particuliers identiques ou correspondants" faisant une contribution par rapport à l'état de la technique et sur lesquelles une relation technique entre les revendications pourrait être basée. Chaque groupe de revendications est dirigé vers un problème à résoudre différent:

**ABSENCE D'UNITÉ D'INVENTION
FEUILLE SUPPLÉMENTAIRE B**

Numéro de la demande

FA 673340
FR 0512137

La division de la recherche estime que la présente demande de brevet ne satisfait pas à l'exigence relative à l'unité d'invention et concerne plusieurs inventions ou pluralités d'inventions, à savoir :

groupe a): définition d'une configuration spécifique des microlentilles et de leur gabarit;
groupe b): obtention de cette configuration de microlentilles par certains procédés spécifiques de fabrication, tels que le fluage ou la gravure, réalisés en simultané ou séquentiellement.

Par conséquent, il est considéré que les trois objets revendiqués par les trois groupes de revendications a), b) et c) ne sont pas reliés par un concept inventif commun.