



(51) Classification internationale des brevets :
G03H 1/08 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2011/052054

(22) Date de dépôt international :
8 septembre 2011 (08.09.2011)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1057126 8 septembre 2010 (08.09.2010) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
**COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE ET
AUX ENERGIES ALTERNATIVES** [FR/FR];
Bâtiment Le Ponant D, 25, Rue Leblanc, F-75015 Paris
(FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) :
MARTINEZ, Christophe [FR/FR]; 2, Rue Sidi Brahimi,
F-38100 Grenoble (FR).

(74) Mandataire : **CABINET BEAUMONT**; 1, Rue
Champollion, F-38000 Grenoble (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, QA, RO, RS, RU,
RW, 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,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : ENCRYPTED SYNTHETIC HOLOGRAM AND METHOD FOR READING SUCH A HOLOGRAM

(54) Titre : HOLOGRAMME SYNTHETIQUE CRYPTÉ ET PROCÉDE DE LECTURE D'UN TEL HOLOGRAMME

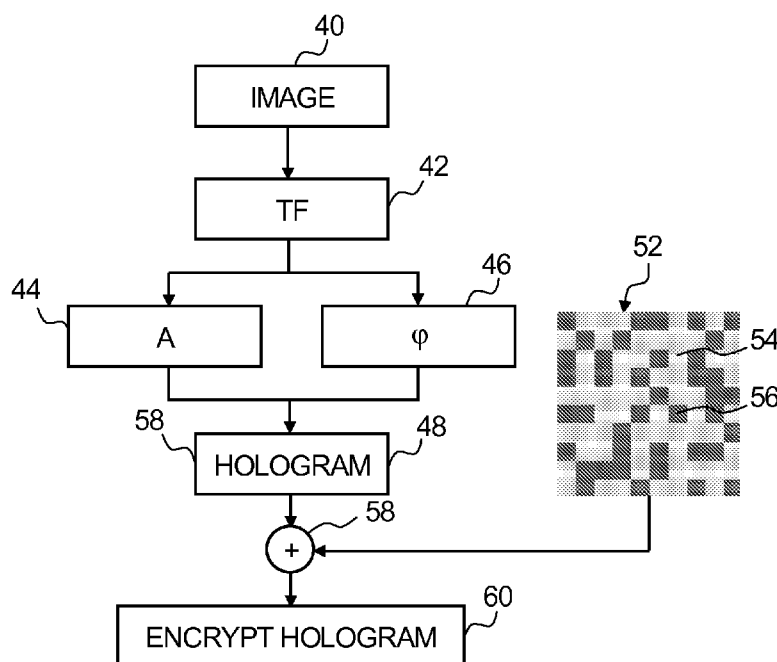


Figure 3

(57) Abstract : The invention relates to an encrypted synthetic hologram formed from the Fourier transformation of an image (40) and consisting of a matrix of elementary cells. Half of the elementary cells, with a 10% margin, selected according to a motif (52), are dephased in relation to the elementary cells of a hologram directly produced by the Fourier transformation of the image.

(57) Abrégé : L'invention concerne un hologramme synthétique crypté formé à partir de la transformée de Fourier d'une image (40) et constitué d'une matrice de cellules élémentaires. La moitié, à 10% près, des cellules élémentaires, choisies selon un motif (52), sont déphasées par rapport aux cellules élémentaires d'un hologramme directement issu de la transformée de Fourier de l'image.





SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, —
GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

*avant l'expiration du délai prévu pour la modification des
revendications, sera republiée si des modifications sont
reçues (règle 48.2.h)*

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

HOLOGRAMME SYNTHETIQUE CRYPTÉ ET PROCÉDE DE LECTURE D'UN TEL HOLOGRAMME

Domaine de l'invention

La présente invention concerne les hologrammes synthétiques. Plus particulièrement, la présente invention concerne un procédé de fabrication d'un hologramme synthétique dont la lecture directe ne permet pas d'obtenir l'image utilisée pour former l'hologramme, l'hologramme obtenu par un tel
5 procédé, et un procédé de lecture de cet hologramme.

Exposé de l'art antérieur

Dans de nombreux secteurs, notamment dans l'industrie
10 du luxe (par exemple la parfumerie, la bijouterie ou la maroquinerie), ou dans le domaine des médicaments, la lutte contre la copie des produits de marque est une préoccupation quotidienne. Plusieurs procédés sont actuellement utilisés pour tenter de garantir l'authenticité des produits de marque. Le
15 plus simple consiste à reproduire ou à fixer un logo de la marque sur les produits. Cependant, la reproduction d'un logo par un fraudeur est relativement facile.

D'autres procédés de marquage, plus difficilement repérables et copiables, sont connus. L'un d'entre eux consiste
20 à placer une puce d'identification transparente, invisible à l'oeil nu, sur chacun des produits d'un lot, un hologramme étant

formé sur la puce transparente. L'hologramme est obtenu en calculant la transformée de Fourier d'une image représentant par exemple le logo de la marque. La provenance des produits est ainsi garantie par la présence, ou non, de l'hologramme.

5 Un problème lié à l'utilisation d'hologrammes simples est que, si un fraudeur sait qu'un hologramme est reporté sur le produit, l'utilisation d'un système optique adapté peut permettre le calcul de la transformée de Fourier inverse de l'hologramme et donc l'obtention de l'image utilisée pour former
10 cet hologramme. Une fois cette image obtenue, le fraudeur peut facilement recréer et copier l'hologramme.

Pour éviter qu'une telle copie de l'hologramme ne soit possible, il a été proposé de modifier la transformée de Fourier de l'hologramme à l'aide d'une clef de phase. Ceci est notamment
15 proposé dans la demande de brevet français FR 2 941 079 de la demanderesse (B9147).

La figure 1 illustre un procédé de formation d'un hologramme codé à l'aide d'une clef de phase. On part d'une image initiale 10 (IMAGE), par exemple un logo ou une marque,
20 puis on réalise le calcul, à une étape 12 (TF), de la transformée de Fourier de cette image. Le calcul de cette transformée de Fourier permet d'obtenir une image d'amplitude 14 (A) et une image de la phase de la transformée de Fourier. L'image de phase est modifiée par une clef de phase (PHASE KEY)
25 16 pour obtenir une image de phase modifiée à une étape 18 (ϕ). Cette modification introduit un déphasage sur l'ensemble des cellules élémentaires constituant l'image de phase, plus ou moins important selon les cellules élémentaires.

On forme ensuite un hologramme synthétique (étape 20, HOLOGRAM) à partir de l'image de l'amplitude de la transformée de Fourier A et de l'image modifiée de la phase ϕ . La fabrication, à une étape 22, d'hologrammes formés à partir du calcul d'hologramme de l'étape 20 sur des puces est alors possible.
30

A titre d'exemple, un hologramme synthétique par codage d'ouvertures est obtenu de la façon suivante. Les images d'amplitude A et de phase modifiée ϕ sont découpées en un nombre prédéfini de cellules élémentaires. L'hologramme obtenu est
5 constitué d'un même nombre de cellules élémentaires.

La figure 2 illustre un exemple d'un hologramme synthétique par codage d'ouvertures 30. Dans chaque cellule élémentaire 32 de l'hologramme est formée une ouverture 34. Les ouvertures 34 sont centrées, dans chaque cellule, selon une
10 première direction y de l'hologramme. La surface des ouvertures dans chacune des cellules élémentaires de l'hologramme correspond à l'amplitude de la cellule élémentaire associée de l'image d'amplitude A . Dans chaque cellule, le décalage de l'ouverture selon une seconde direction x de l'hologramme
15 correspond à la phase de la cellule élémentaire associée de l'image de phase ϕ .

D'autres types d'hologrammes synthétiques, décrits notamment dans la publication intitulée "Computer generated holograms : an historical review", de G. Tricoles, Applied
20 Optics 1981, vol 26 no 20, pp 4351-4360, sont également connus. Notamment, il est également connu de former des hologrammes synthétiques dans lesquels chacune des cellules élémentaires comprend plusieurs ouvertures dont les tailles respectives codent l'amplitude et la phase de la transformée de Fourier de
25 la cellule élémentaire correspondante, des hologrammes dont chaque cellule représente une portion d'interférogramme dont la largeur et le positionnement codent l'amplitude et la phase, ou encore des hologrammes qui codent directement la phase par des changements d'épaisseur de l'hologramme.

30 L'utilisation d'une clef de phase 16 pour former un hologramme synthétique par codage d'ouvertures modifie la phase de toutes les cellules élémentaires, et donc la position selon la direction x des ouvertures formées dans ces cellules. Ceci permet d'éviter qu'un fraudeur ne puisse lire l'image ayant
35 servi à l'obtenir à partir de l'hologramme. En effet, pour lire

l'hologramme, l'utilisation d'une clef de phase correspondant à la clef 16 est nécessaire.

Pour lire un hologramme formé par le procédé de la figure 1, on place, dans un dispositif de lecture, une lame de phase image de la clef de phase utilisée pour modifier l'image de phase à l'étape 18. Cependant, la fabrication d'une lame de phase n'est pas aisée puisqu'elle implique de modifier l'épaisseur ou l'indice d'une lame mince en de nombreuses portions de la lame, et surtout de prévoir plusieurs épaisseurs ou plusieurs indices sur une même lame. Une telle modification ne peut en pratique pas être de bonne qualité.

Ainsi, un besoin existe d'un procédé de marquage de produits à l'aide d'un hologramme palliant tout ou partie des inconvénients des procédés connus et d'un procédé de lecture d'un tel hologramme simple à mettre en oeuvre.

Résumé

Un objet d'un mode de réalisation de la présente invention est de prévoir un hologramme synthétique relativement simple et dont la lecture directe n'est pas possible.

Un autre objet d'un mode de réalisation de la présente invention est de prévoir un procédé de lecture simple d'un tel hologramme.

Ainsi, un mode de réalisation de la présente invention prévoit un hologramme synthétique crypté formé à partir de la transformée de Fourier d'une image et constitué d'une matrice de cellules élémentaires, la moitié, à 10 % près, des cellules élémentaires, choisies selon un motif, étant déphasées par rapport aux cellules élémentaires d'un hologramme directement issu de la transformée de Fourier de l'image.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, les cellules élémentaires déphasées sont déphasées de π , à 10 % près.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, l'hologramme synthétique est de type à codage d'ouvertures.

Un mode de réalisation de la présente invention prévoit en outre une puce sur laquelle est formé au moins un ensemble de deux hologrammes synthétiques cryptés tels que décrits ci-dessus, les cellules élémentaires déphasées des deux
5 hologrammes étant complémentaires.

Un mode de réalisation de la présente invention prévoit en outre un procédé de fabrication d'un hologramme synthétique crypté, comprenant les étapes suivantes : déterminer une image d'amplitude et une image de phase de la transformée de
10 Fourier de l'image ; définir un motif de la taille de l'image de phase, le motif comprenant des premières zones et des secondes zones, les premières zones recouvrant la moitié du motif, à 10 % près ; et former un hologramme synthétique crypté à partir de l'image d'amplitude et de l'image de phase, ledit hologramme
15 étant constitué de cellules élémentaires, les cellules élémentaires de l'hologramme crypté superposées aux premières zones dudit motif étant déphasées.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, les cellules élémentaires déphasées sont déphasées de π , à 10 %
20 près.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le procédé comprend en outre une étape finale de formation de l'hologramme synthétique crypté sur une puce.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, l'étape finale comprend en outre la formation, sur la puce, d'un
25 deuxième hologramme synthétique crypté obtenu par un déphasage des cellules élémentaires de l'hologramme superposées aux secondes zones du motif.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, le procédé comprend en outre une étape finale consistant à
30 former plusieurs hologrammes synthétiques cryptés à l'aide d'un ou de plusieurs motifs sur une puce.

Selon un mode de réalisation de la présente invention, l'hologramme synthétique crypté est intégré dans une image
35 binaire visible par inversion et déphasage de π du codage des

cellules élémentaires de l'hologramme crypté au niveau de portions définissant les régions visibles de l'image binaire.

Un mode de réalisation de la présente invention prévoit en outre un procédé de lecture d'un hologramme tel que décrit ci-dessus, ou d'au moins un hologramme fabriqué par le procédé ci-dessus et formé sur une puce, comprenant les étapes suivantes : éclairer la puce au travers d'un masque dont les portions masquées correspondent aux portions du motif utilisées pour le déphasage ; combiner le faisceau réfléchi ou transmis par le au moins un hologramme à l'aide d'une lentille réalisant une transformation de Fourier inverse dudit faisceau réfléchi ou transmis ; et lire l'image obtenue au point focal de la lentille.

Brève description des dessins

Ces objets, caractéristiques et avantages, ainsi que d'autres seront exposés en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite à titre non-limitatif en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1, précédemment décrite, est un organigramme d'un procédé connu de formation d'un hologramme synthétique mettant en oeuvre un codage par une clef de phase ;

la figure 2, précédemment décrite, représente un hologramme synthétique par codage d'ouvertures ;

la figure 3 est un organigramme d'un procédé de fabrication d'un hologramme synthétique crypté selon un mode de réalisation de la présente invention ;

la figure 4 illustre un dispositif de lecture d'un hologramme synthétique ;

la figure 5 illustre un dispositif de lecture d'un hologramme synthétique crypté selon un mode de réalisation de la présente invention ;

les figures 6A, 6B et 6C illustrent différents résultats de lecture d'hologrammes synthétiques ;

la figure 7 illustre une superposition d'un masque et d'hologrammes synthétiques formés selon un mode de réalisation de la présente invention ;

les figures 8A et 8B illustrent des résultats de lecture d'hologrammes synthétiques selon un mode de réalisation de la présente invention ;

les figures 9A et 9B illustrent deux hologrammes synthétiques équivalents ;

la figure 10 illustre un hologramme synthétique superposé à une image visible ;

les figures 11A et 11B illustrent un procédé de lecture d'un hologramme synthétique superposé à une image visible selon un mode de réalisation de la présente invention ; et

les figures 12A, 12B, 12C, 13A, 13B et 13C illustrent des résultats de lecture obtenus en utilisant un procédé de lecture selon un mode de réalisation de la présente invention.

Par souci de clarté, les diverses figures ne sont pas tracées à l'échelle.

Description détaillée

La figure 3 est un organigramme d'un procédé de fabrication d'un hologramme synthétique. Le procédé proposé ici prévoit, pour éviter qu'un hologramme synthétique ne puisse être copié par un fraudeur, de réaliser un codage de l'hologramme particulier lors de sa fabrication.

A une étape initiale 40 (IMAGE), on part d'une image que l'on souhaite intégrer dans un hologramme. A une étape 42 (TF), on calcule la transformée de Fourier de l'image 40, ce qui permet d'obtenir une image de l'amplitude de la transformée de Fourier A, à une étape 44, et une image de la phase de la transformée de Fourier ϕ , à une étape 46. Les images A et ϕ sont morcelées en un nombre prédéterminé de cellules élémentaires. On forme ensuite, à une étape 48, un hologramme synthétique, par exemple un hologramme synthétique par codage d'ouvertures, à partir de l'image d'amplitude A et de l'image de phase ϕ . Cet

hologramme comprend un même nombre de cellules élémentaires que les images d'amplitude A et de phase φ .

L'hologramme est ensuite modifié, à une étape 58, à l'aide d'un motif 52 dont le contour correspond à un contour de cellules élémentaires de l'hologramme obtenu à l'étape 48. Le motif 52 comprend un nombre de cellules élémentaires inférieur ou égal au nombre de cellules de l'hologramme (les cellules élémentaires du motif peuvent être plus grandes que celles de l'hologramme). Le motif 52 comprend un premier ensemble de cellules élémentaires 54 et un second ensemble de cellules élémentaires 56, représentées en figure 3 par des régions grisées à deux niveaux, régulièrement réparties sur le motif 52. De préférence, le premier ensemble 54 et le second ensemble 56 recouvrent des surfaces sensiblement égales du motif 52, à 10 % près. Les premier et second ensembles de cellules élémentaires 54 et 56 peuvent être définis dans le motif 52 de façon aléatoire, ou selon une image prédéfinie à l'avance, tant que ces deux ensembles de cellules élémentaires respectent le fait de recouvrir des surfaces sensiblement égales du motif 52.

Une étape 58 consiste à modifier l'hologramme obtenu à l'étape 48 en appliquant, par exemple au niveau des premières zones du motif 52, et par superposition, un déphasage d'une valeur prédéterminée aux ouvertures de l'hologramme formées dans les zones superposées correspondantes de l'hologramme. Ceci permet d'obtenir, à une étape 60, un hologramme crypté (ENCRYPT HOLOGRAM).

Le déphasage appliqué aux cellules superposées aux premières zones du motif est de préférence voisin de π , à 10 % près. Ainsi, environ la moitié de l'hologramme crypté obtenu à l'étape 60 comporte des cellules élémentaires identiques aux cellules élémentaires correspondantes de l'hologramme 48. L'autre moitié des cellules élémentaires de l'hologramme crypté est déphasée de π par rapport aux cellules élémentaires correspondantes de l'hologramme 48. Dans le cas d'un hologramme synthétique par codage d'ouvertures, un déphasage de π est

obtenu en décalant, dans les cellules élémentaires concernées, les ouvertures formées dans ces cellules de la moitié de la taille de ces cellules (dans la direction x de l'hologramme de la figure 2).

5 La figure 4 illustre un dispositif de lecture en réflexion d'un hologramme synthétique obtenu par le procédé de la figure 3, sans utilisation d'un dispositif de lecture particulier. Ceci correspond à la lecture de l'hologramme que pourrait faire un fraudeur.

10 Un faisceau lumineux 62 est transmis, par exemple par un cube séparateur de faisceau 64, en direction d'un hologramme 66 (non représenté en détail) formé sur une puce 68. L'hologramme 66 réfléchit le faisceau lumineux. Le faisceau réfléchi peut être séparé en deux, un premier faisceau réfléchi
15 par les cellules élémentaires de l'hologramme qui n'ont pas été déphasées lors de l'étape 58 et un second faisceau réfléchi par les cellules élémentaires de l'hologramme qui ont été déphasées lors de l'étape 58 (selon le motif 52).

 Les faisceaux réfléchis par l'hologramme repassent
20 dans le cube séparateur de faisceau 64 puis sont combinés par une lentille 70 dont la fonction est de réaliser une transformée de Fourier inverse des rayons reçus de façon à afficher une image sur un dispositif d'affichage (non représenté) placé au point focal de la lentille. Du fait du déphasage imposé sur
25 environ la moitié de l'hologramme 66 à l'étape 58, les premier et second faisceaux réfléchis par l'hologramme 66 interfèrent de façon destructive lors de leur combinaison par la lentille 70. Ainsi, l'image obtenue en sortie de la lentille 70 est brouillée. La lecture directe de l'hologramme n'est donc pas
30 possible.

 La figure 5 illustre un dispositif de lecture adapté à la lecture d'hologrammes cryptés formés par le procédé de la figure 3. Le dispositif de la figure 5 reprend l'ensemble des éléments du dispositif de la figure 4, référencés de la même
35 manière.

Un faisceau lumineux 62 est transmis, par exemple par un cube séparateur de faisceau 64, en direction d'un hologramme 66 (non représenté en détail) formé sur une puce 68. Un masque 72 est positionné entre le cube séparateur et la puce 68. Le
5 masque 72 comprend des portions opaques 74 que des faisceaux lumineux réfléchis par l'hologramme 66 ne traversent pas. Les portions opaques 74 sont définies sur le masque selon le même motif que le motif 52 utilisé lors de l'étape 58 pour déphaser de π une partie des ouvertures formées dans l'hologramme
10 synthétique 60.

Le faisceau réfléchi par l'hologramme 66 est donc filtré par les portions opaques 74 du masque 72 et seuls les rayons issus des cellules élémentaires de l'hologramme 66 qui n'ont pas été déphasées lors de l'étape 58 traversent le cube
15 séparateur 64 pour être combinés par la lentille 70. On obtient ainsi l'image 40 utilisée pour former l'hologramme au point focal de la lentille 70 puisqu'il n'y a pas eu d'interférences destructives au niveau de la lentille 70.

Avantageusement, la formation d'un masque tel que le
20 masque 72 est relativement aisée, comparativement aux clefs de phase de l'art antérieur. Pour former un masque 72, on peut par exemple utiliser des techniques similaires à celles utilisées pour former des hologrammes synthétiques, à savoir la formation d'une couche opaque, par exemple d'oxyde de platine, sur une
25 lame mince de verre puis la gravure adaptée de portions de cette couche d'oxyde de platine, par exemple par une gravure par faisceau d'électrons ou laser, pour rendre transparentes ces portions.

On notera que la lecture d'un hologramme synthétique
30 pourra également être réalisée par un dispositif de lecture en transmission plutôt que par les dispositifs en réflexion représentés en figures 4 et 5.

Les figures 6A, 6B et 6C illustrent différents résultats de lecture d'hologrammes synthétiques, l'image

initiale utilisée pour former ces hologrammes étant une matrice bidimensionnelle ("DataMatrix" en anglais).

La figure 6A illustre le résultat d'une lecture dans un premier cas où aucun déphasage n'a été appliqué à l'hologramme lors de sa fabrication, la lecture étant réalisée en utilisant par exemple le dispositif de la figure 4. Le résultat obtenu est un résultat de bonne qualité, et toute personne possédant un dispositif optique de lecture adapté peut obtenir ce résultat.

La figure 6B illustre le résultat d'une lecture d'un hologramme dans un deuxième cas où l'hologramme a été formé par le procédé de la figure 3 et où la lecture a été réalisée avec un dispositif tel que celui de la figure 4, c'est-à-dire sans utiliser de masque 72. Dans ce cas, l'image obtenue est complètement brouillée, du fait des interférences destructrices entre les faisceaux réfléchis par l'hologramme (dus au déphasage imposé à certaines cellules).

La figure 6C illustre le résultat d'une lecture d'un hologramme dans un troisième cas où l'hologramme a été formé par le procédé de la figure 3 et où la lecture a été réalisée avec un dispositif tel que celui de la figure 5, c'est-à-dire en utilisant un masque 72. Dans ce cas, la lecture de la matrice bidimensionnelle est tout à fait possible, bien que l'image soit moins bien définie. La moindre définition de l'image dans le cas de la figure 6C est due au fait que, quand on utilise le masque 72, seule environ la moitié des cellules de l'hologramme est utilisée lors de la lecture. Cependant, même en n'utilisant que la moitié des cellules de l'hologramme, on peut obtenir l'image initialement utilisée pour former l'hologramme. On notera que l'on pourra légèrement jouer sur le nombre de cellules élémentaires déphasées lors de l'étape 58 (à 10 % près), et donc sur le nombre de portions masquées par le masque 72 pour obtenir une meilleure lecture, tout en assurant le fait qu'une lecture sans masque 72 soit de mauvaise qualité.

Selon une variante de réalisation, pour optimiser la lecture d'un hologramme formé par le procédé de la figure 4, on prévoit de former deux hologrammes sur une même puce 68 et de masquer de façon complémentaire chacun de ces hologrammes à l'aide d'un masque 72 adapté. Dans ce cas, les portions déphasées des deux hologrammes à l'étape 58 sont également complémentaires. On peut également prévoir, pour plus de lisibilité, de former plus de deux hologrammes sur la puce 68 et de déphaser ces hologrammes de façon adaptée pour qu'au moins un hologramme complet, ou plusieurs hologrammes, réfléchissent des rayons lumineux au travers du masque 72.

La figure 7 illustre une superposition d'un masque de lecture 72 et d'un ensemble de quatre hologrammes synthétiques formés sur une puce.

Dans cet exemple les régions de masquage 74 du masque de lecture 72 sont noircies. Derrière le masque 72 apparaissent quatre hologrammes identiques 66a, 66b, 66c et 66d. Les portions des hologrammes situées en regard des régions de masquage 74 du masque de lecture 72 sont déphasées de π par rapport aux portions des hologrammes initiales. Le masque 72, dans sa portion superposée aux hologrammes 66c et 66d, est complémentaire du masque 72 dans sa portion superposée aux hologrammes 66a et 66b. Ainsi, le masque 72 permet que toutes les cellules élémentaires de l'hologramme soient au moins une fois visibles au travers du masque, dans une configuration non déphasée. Le fait que l'hologramme (non déphasé) soit reproduit plusieurs fois sur une même puce ne provoque pas d'interférences destructives et, au contraire, permet d'améliorer la résolution de l'image obtenue par la transformée de Fourier inverse de l'hologramme.

La figure 8A illustre une image initiale utilisée pour former un hologramme et la figure 8B illustre le résultat d'une lecture d'un tel hologramme dans le cas où l'hologramme est, comme cela est représenté en figure 7, formé en quatre exemplaires déphasés sur la puce 68, la lecture étant réalisée

en utilisant un masque adapté. L'image obtenue en figure 8B est lisible et de bonne qualité.

On pourra également, selon une variante de réalisation, dissimuler l'hologramme au niveau d'une image visible
5 binaire (c'est-à-dire à deux niveaux de couleur). Dans ce cas, une technique associée aux particularités des hologrammes synthétiques par codage d'ouvertures et décrite ci-après est utilisée.

Une propriété particulière des hologrammes synthé-
10 tiques par codage d'ouvertures, générale au principe de diffraction, concerne la diffraction du négatif de l'hologramme. On appelle négatif d'un hologramme un hologramme dont les parties transmissives et opaques sont inversées. De façon générale, l'aspect d'un hologramme en mode positif est une image
15 claire (comprenant beaucoup plus de blanc que de zones noires) alors que celui d'un hologramme en mode négatif est une image sombre (comprenant beaucoup plus de zones noires que de blanc).

Il est connu qu'un hologramme négatif dans lequel on impose un déphasage de π à chacune des cellules fournit en
20 lecture une image identique à l'image de l'hologramme positif correspondant. Ainsi, on peut former des images par l'insertion de motifs dans l'hologramme en formant le négatif des cellules élémentaires formées au niveau de ce motif. Cette propriété se vérifie également dans le cas d'hologrammes synthétiques
25 constitués de cellules élémentaires comprenant plusieurs ouvertures dont les tailles respectives codent l'amplitude et la phase de l'hologramme.

Les figures 9A et 9B sont deux hologrammes synthétiques illustrant ce principe.

30 La figure 9A illustre un hologramme synthétique par codage d'ouvertures "positif", à savoir comprenant des ouvertures noires sur un fond clair (formées par gravure par exemple d'un oxyde de platine).

La figure 9B illustre un hologramme synthétique formé
35 à partir de l'hologramme de la figure 9A et comprenant des

portions d'un motif visible, formé par inversion et déphasage de π des cellules situées au niveau de ce motif visible. La figure 9B comprend ainsi deux portions, une première portion 80 dans laquelle les ouvertures formées dans les cellules élémentaires de l'hologramme sont identiques à celles des cellules élémentaires correspondantes de l'hologramme de la figure 9A et une ou des portions 82 dans lesquelles les cellules élémentaires de l'hologramme sont en négatif et déphasées de π et donc forment un rendu plus sombre que les portions 80.

Ainsi, en appliquant le principe présenté ci-dessus, on peut former des images binaires visibles en remplaçant les cellules élémentaires au niveau des portions foncées de l'image binaire par leurs cellules équivalentes (en pratique, cela revient à graver l'oxyde de platine à l'extérieur d'ouvertures déphasées plutôt qu'à l'intérieur, ou inversement).

La figure 10 illustre un hologramme dissimulé dans une image réelle (la lettre "A" dans cet exemple), formé en appliquant le principe ci-dessus d'inversion et de déphasage des cellules au niveau de la lettre "A".

La dissimulation d'un hologramme dans une image réelle forme des portions sombres dans lesquelles apparaissent de petites régions claires (au niveau de la lettre) et des portions claires dans laquelle apparaissent de petites régions noires (dans le reste de l'hologramme). La technique de dissimulation de l'hologramme dans une image visible permet également un bon alignement entre l'hologramme synthétique par codage d'ouvertures et le masque 72 nécessaire à la lecture.

Les figures 11A et 11B illustrent une application de ce procédé.

La figure 11A illustre un hologramme synthétique par codage d'ouvertures dissimulé dans une image réelle, un papillon dans l'exemple représenté, par le même procédé que celui utilisé pour obtenir l'hologramme de la figure 10 (inversion et déphasage au niveau des portions foncées de l'image). L'hologramme synthétique est volontairement intégré sur une

partie centrale uniquement de l'image réelle (portion grisée à l'intérieur du cadre hachuré).

La figure 11B illustre un masque adapté à la lecture de l'hologramme synthétique de la figure 11A.

5 Le masque comprend une portion centrale, de la taille de l'hologramme de la figure 11A, qui comprend un motif de masquage adapté à la lecture de l'hologramme de la figure 11A, c'est-à-dire comprenant un premier ensemble de cellules élémentaires opaques et un second ensemble de cellules
10 élémentaires transparentes.

Autour du motif central du masque est repris le motif du papillon. Ceci permet de positionner avec précision le masque de la figure 11B sur l'hologramme de la figure 11A lors de la lecture, et donc d'obtenir un bon alignement entre les portions
15 de l'image visible (papillon) et les portions de l'image visible du masque de la figure 11B, et donc entre le masque de lecture et l'hologramme.

Les figures 12A, 12B, 12C, 13A, 13B et 13C illustrent des résultats de lecture obtenus à l'aide d'un dispositif de
20 lecture tel que celui de la figure 5 en fonction du nombre de cellules élémentaires définies sur le motif de fabrication d'hologramme et le masque de lecture.

Les figures 12A et 13A illustrent deux exemples de motifs de cryptage d'hologramme 52 et de masque de lecture 72,
25 le masque de la figure 12A comprenant un plus grand nombre de cellules élémentaires que le masque de la figure 13A. La figure 12B, respectivement 13B, illustre le résultat obtenu par la lecture directe, sans utilisation d'un masque de lecture, d'un hologramme dont la fabrication a été obtenue par cryptage à
30 l'aide du motif de la figure 12A, respectivement 13A. On note qu'un léger motif est perceptible dans le cas de la figure 13B, ce qui n'est pas le cas dans la figure 13A. Dans les deux exemples cependant, l'image initiale complète n'est pas reconstruite.

La figure 12C, respectivement 13C, illustre le résultat obtenu par lecture de l'hologramme à l'aide d'un masque de lecture ayant la forme du masque de la figure 12A, respectivement 13A, dans le cas où un seul hologramme est formé sur une puce. Dans ces deux cas, l'image lue est de bonne qualité et tous les caractères de cette image sont lisibles. On notera que la qualité de l'image lue dépend du nombre de cellules élémentaires du motif de fabrication 52 et du motif de masquage 72.

Au vu des figures qui précèdent, le nombre de cellules élémentaires du masque de lecture et du motif de fabrication d'hologramme est lié à la difficulté de reconstituer l'image initiale sans utilisation de masque, ainsi qu'à la lisibilité de l'hologramme lors de la lecture avec masque. Cependant, plus on augmente le nombre de cellules élémentaires de ce motif, plus l'alignement du masque de lecture est difficile. L'homme de l'art déterminera aisément le nombre de cellules élémentaires satisfaisant pour obtenir un masque ni trop fin (alignement complexe du masque de lecture), ni trop grossier (lecture directe possible).

Des modes de réalisation particuliers de la présente invention ont été décrits. Diverses variantes et modifications apparaîtront à l'homme de l'art. En particulier, on notera que, pour fabriquer un hologramme synthétique crypté, on pourra également utiliser un procédé légèrement différent du procédé de la figure 3, consistant à modifier tout d'abord la phase de certaines cellules élémentaires de l'image de phase ϕ puis à combiner l'image de phase modifiée avec l'image d'amplitude A pour obtenir directement un hologramme synthétique crypté.

On notera que le procédé de fabrication et de lecture d'hologrammes présenté ici s'applique à tout type d'hologramme synthétique, et pas seulement aux hologrammes synthétiques par codage d'ouvertures. Il s'applique notamment aux différents types d'hologrammes synthétiques présentés dans la publication précédemment citée de G. Tricoles. Le procédé d'intégration d'un

hologramme synthétique dans une image binaire est, quant à lui, tout particulièrement adapté aux hologrammes synthétiques par codage d'ouvertures, comprenant des cellules élémentaires à une ou plusieurs ouvertures.

5 En outre, les hologrammes proposés ici pourront par exemple être formés par la structuration d'une couche opaque formée sur un support ou substrat. A titre d'exemple, la couche opaque pourra être une couche métallique, par exemple en aluminium ou en chrome, formée par dépôt. Elle pourra également
10 être en d'autres matériaux. La structuration de la couche opaque pourra être réalisée par une étape de type lithographique.

Le support ou substrat sera de préférence transparent, par exemple en verre, en saphir ou en quartz. Il pourra également être opaque dans le visible si le contraste de
15 réflectivité avec le métal est suffisant. Une combinaison d'une couche d'aluminium déposée sur substrat de silicium assure par exemple ce contraste.

Avantageusement, la résolution d'écriture actuelle avec ce premier procédé de lithographie est inférieure au
20 micromètre, ce qui est compatible avec un pas des cellules de l'hologramme compris entre 1 et 10 μm (ce qui nous intéresse ici pour un hologramme synthétique par codage d'ouvertures tel que représenté en figures 9A et 9B).

L'hologramme pourra également être formé sur le
25 substrat par une modification d'indice de celui-ci, par exemple par un effet photosensible ou par la modification de l'épaisseur d'une couche transparente formée en surface du substrat (on parle alors d'hologramme de phase ou kinoforme).

Dans ce cas, généralement, une lithographie d'une
30 couche de résine formée sur le substrat est réalisée. Après développement de la résine insolée, la surface du dispositif présente deux niveaux d'épaisseur, celui de la résine restante et celui du substrat. Cette topographie est transférée au substrat par gravure de ce dernier, la résine servant de masque.
35 Les différences de hauteurs sont typiquement de l'ordre de la

longueur d'onde, c'est-à-dire de quelques centaines de nanomètres. Ce processus est répété plusieurs fois avec des motifs différents pour former finalement une structuration d'épaisseur complexe. Les différences d'épaisseur du substrat
5 forment des écarts de phase sur un faisceau incident, ce qui permet de modifier la phase de ce dernier en suivant la fonction holographique souhaitée.

On peut également utiliser des matériaux holographiques, par exemple des résines holographiques, dont
10 l'indice peut être modifié proportionnellement à un niveau d'insolation. Ces matériaux sont connus de l'homme de l'art.

En pratique, pour tirer profit de l'aspect visuel de l'hologramme et lui aligner la clef de lecture, par exemple dans le cas décrit en relation avec les figures 11A et 11B, la
15 première solution de formation d'une couche métallique gravée sur un support ou substrat pourra être privilégiée.

REVENDICATIONS

1. Hologramme synthétique crypté formé sur un support à partir de la transformée de Fourier d'une image (40) et constitué d'une matrice de cellules élémentaires, caractérisé en ce que la moitié, à 10 % près, des cellules élémentaires, choisies selon un motif (52), sont déphasées par rapport aux cellules élémentaires d'un hologramme directement issu de la transformée de Fourier de l'image.

2. Hologramme synthétique selon la revendication 1, dans lequel les cellules élémentaires déphasées sont déphasées de π , à 10 % près.

3. Hologramme synthétique selon la revendication 1 ou 2, de type à codage d'ouvertures.

4. Puce sur laquelle est formé au moins un ensemble de deux hologrammes synthétiques cryptés selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, les cellules élémentaires déphasées desdits deux hologrammes étant complémentaires.

5. Procédé de fabrication d'un hologramme synthétique crypté (60), comprenant les étapes suivantes :

déterminer une image d'amplitude (44) et une image de phase (46) de la transformée de Fourier (42) de l'image (40) ;

définir un motif (52) de la taille de l'image de phase, ledit motif comprenant des premières zones (54) et des secondes zones (56), les premières zones recouvrant la moitié du motif, à 10 % près ; et

former un hologramme synthétique crypté (60) à partir de l'image d'amplitude et de l'image de phase, ledit hologramme étant constitué de cellules élémentaires, les cellules élémentaires de l'hologramme crypté superposées aux premières zones dudit motif étant déphasées.

6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel les cellules élémentaires déphasées sont déphasées de π , à 10 % près.

7. Procédé selon la revendication 5 ou 6, comprenant en outre une étape finale de formation de l'hologramme synthétique crypté (60) sur une puce.

5 8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel l'étape finale comprend en outre la formation, sur la puce, d'un deuxième hologramme synthétique crypté obtenu par un déphasage des cellules élémentaires de l'hologramme superposées aux secondes zones (56) du motif (52).

10 9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 ou 6, comprenant en outre une étape finale consistant à former plusieurs hologrammes synthétiques cryptés à l'aide d'un ou de plusieurs motifs sur une puce.

15 10. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 9, dans lequel l'hologramme synthétique crypté (60) est intégré dans une image binaire visible par inversion et déphasage de π du codage des cellules élémentaires de l'hologramme crypté au niveau de portions définissant les régions visibles de l'image binaire.

20 11. Procédé de lecture d'un hologramme selon l'une quelconque des revendications 1 à 3 ou d'au moins un hologramme (66) fabriqué par le procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 10 et formé sur une puce, comprenant les étapes suivantes :

25 éclairer la puce au travers d'un masque (72) dont les portions masquées correspondent aux portions dudit motif (52) utilisées pour le déphasage ;

30 combiner le faisceau réfléchi ou transmis par ledit au moins un hologramme à l'aide d'une lentille (70) réalisant une transformation de Fourier inverse dudit faisceau réfléchi ou transmis ; et

lire l'image obtenue au point focal de la lentille.

1/5

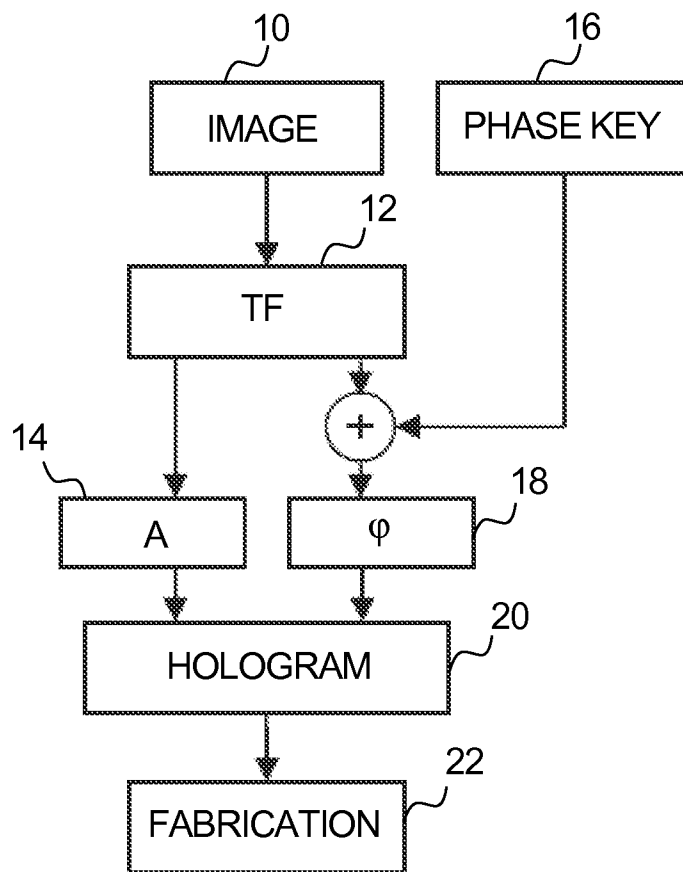


Figure 1

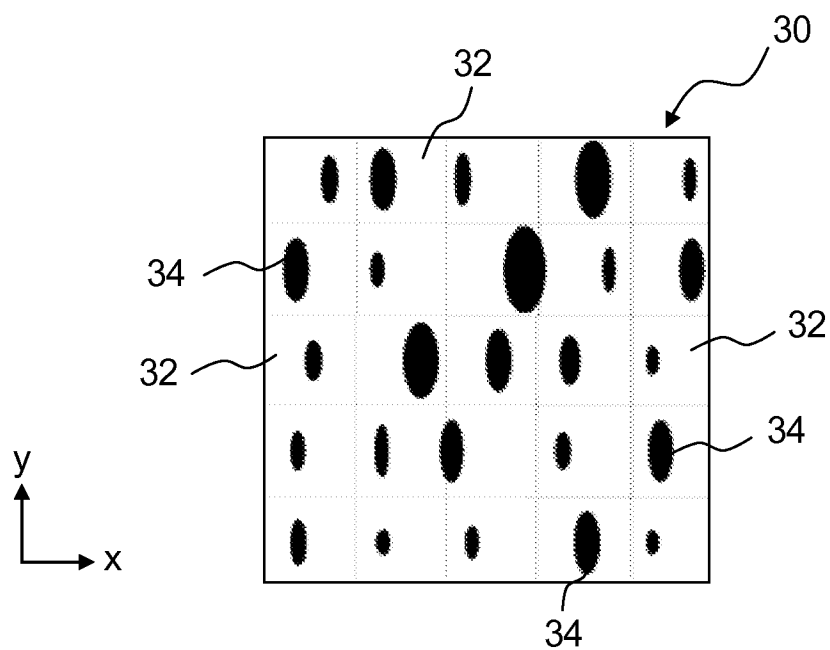


Figure 2

2/5

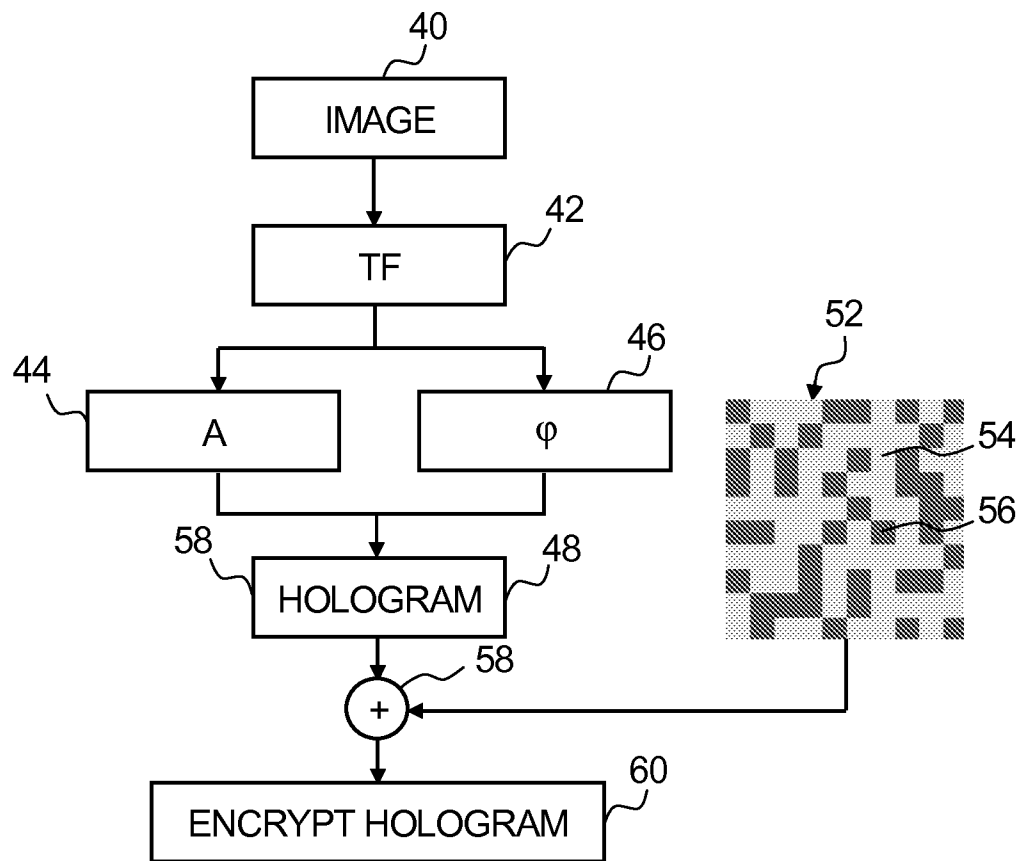


Figure 3

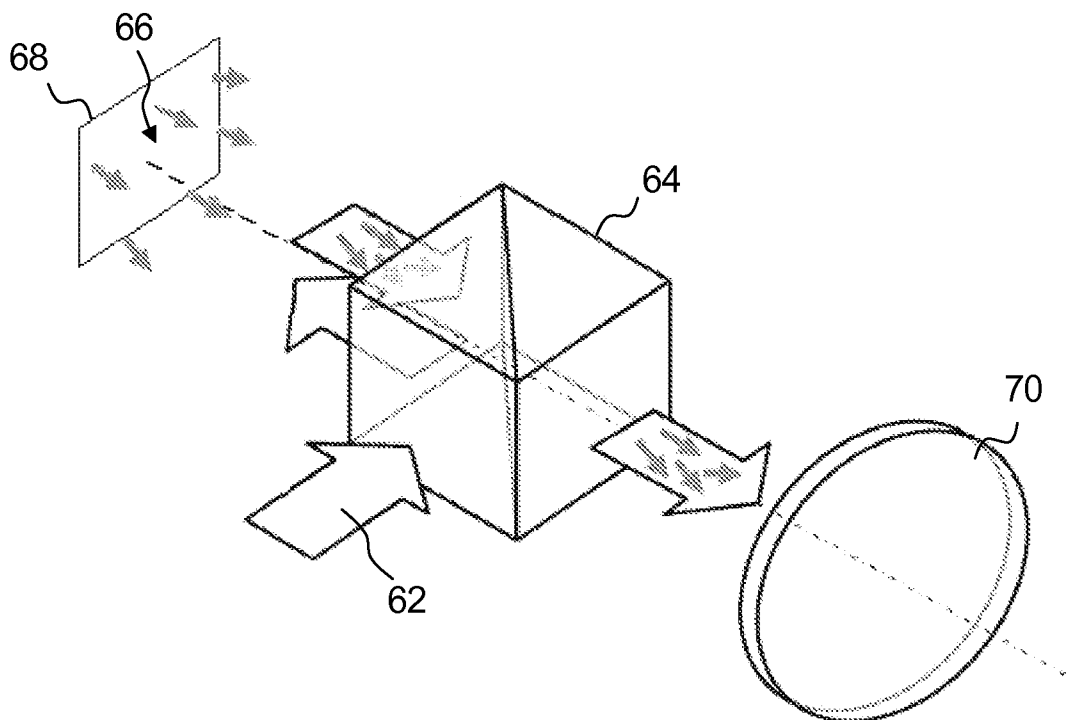


Figure 4

3/5

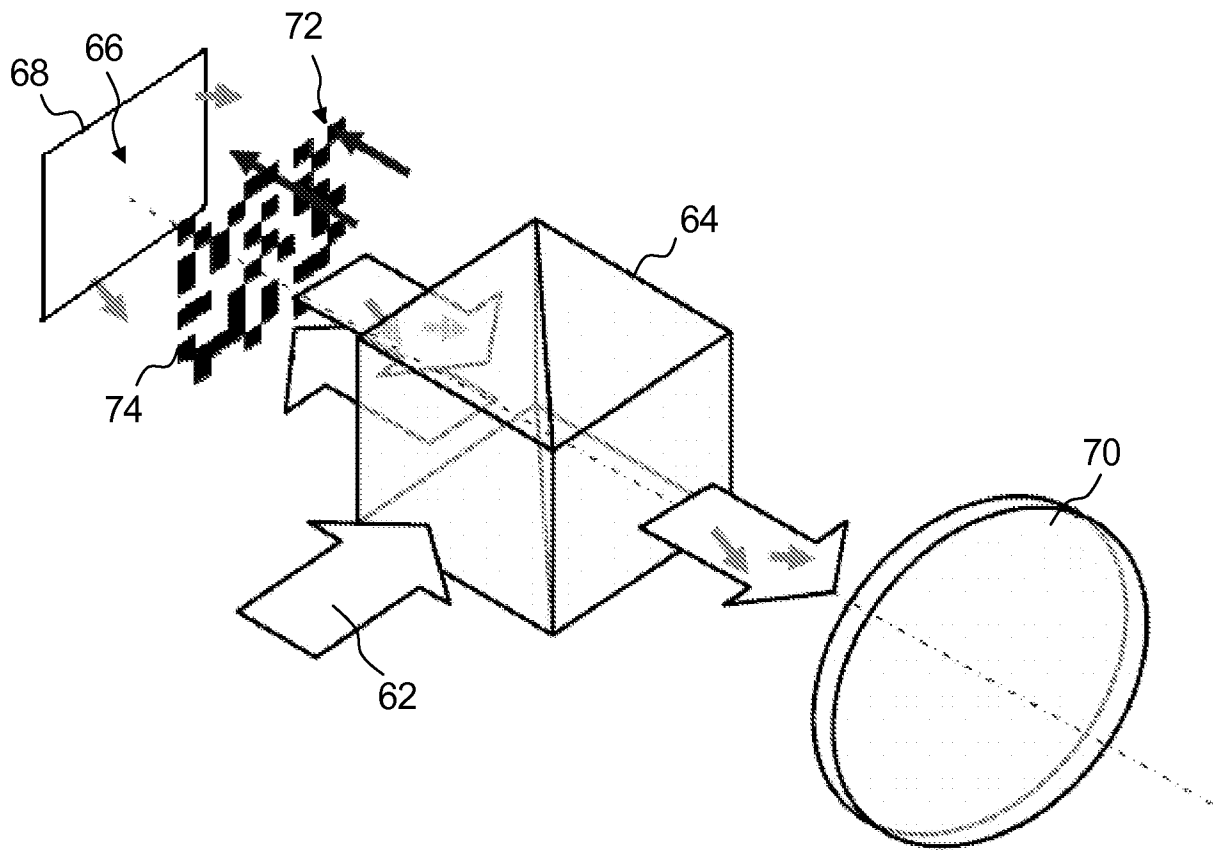


Figure 5

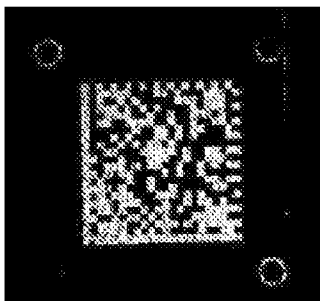


Figure 6A

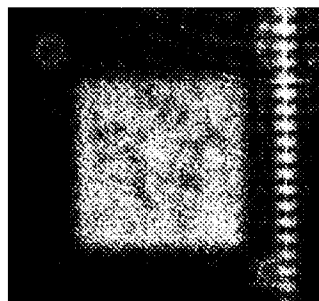


Figure 6B

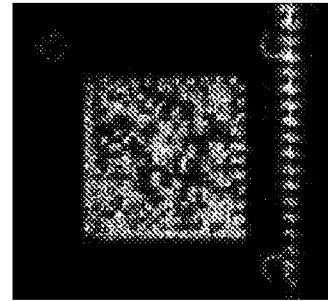


Figure 6C

4/5

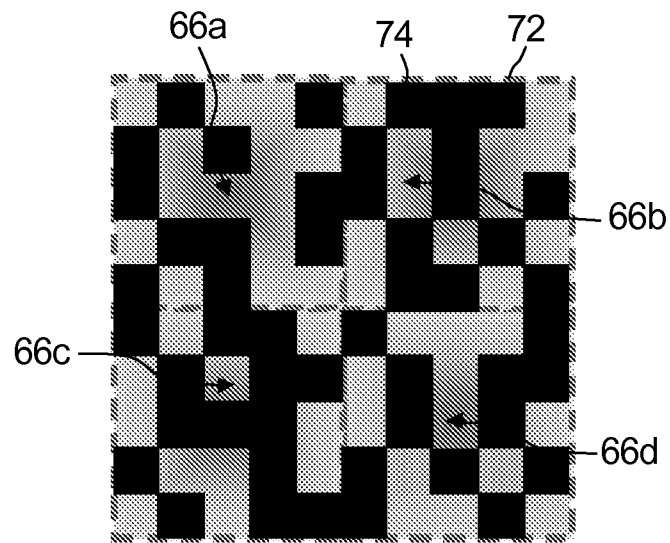


Figure 7



Figure 8A



Figure 8B

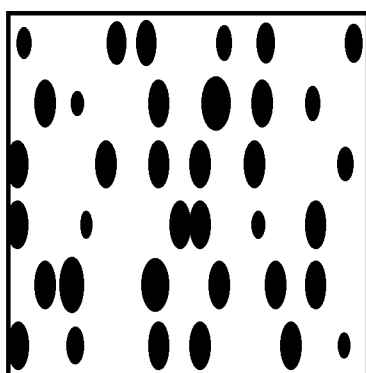


Figure 9A

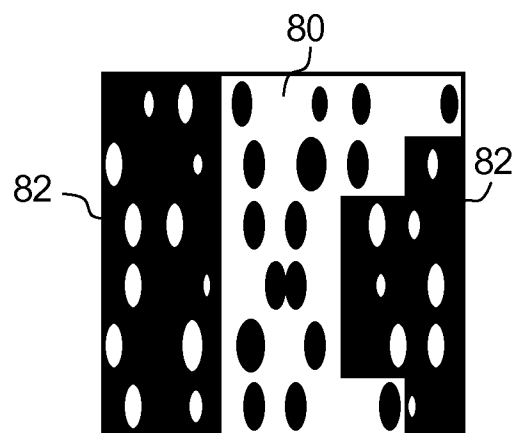


Figure 9B

5/5

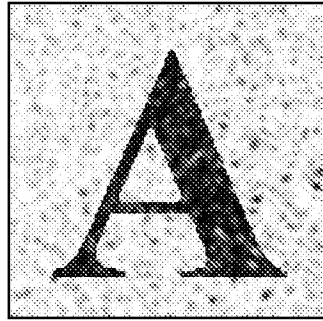


Figure 10

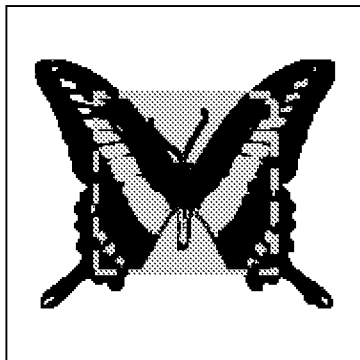


Figure 11A

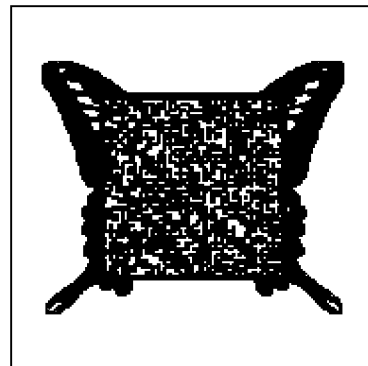


Figure 11B

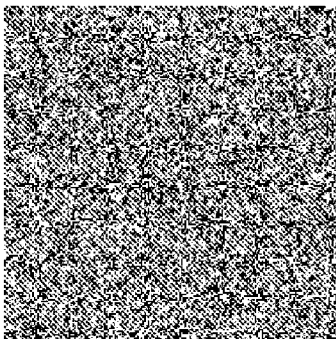


Figure 12A

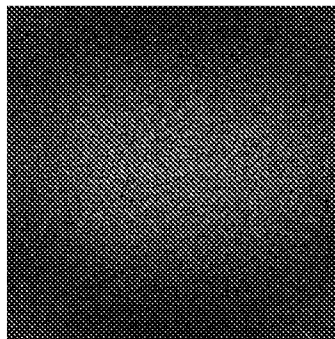


Figure 12B



Figure 12C



Figure 13A

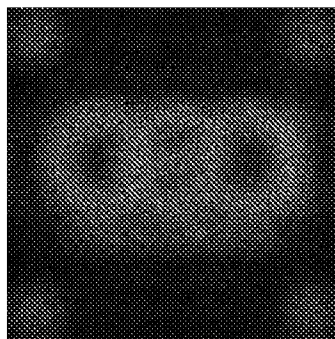


Figure 13B

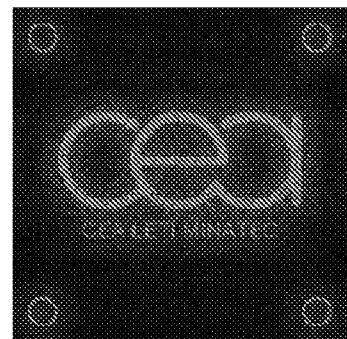


Figure 13C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2011/052054

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. G03H1/08
 ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 G03H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2010/081986 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]; MARTINEZ CHRISTOPHE [FR]; REY ALAI) 22 July 2010 (2010-07-22) abstract pages 3,9,10 claim 1 figure 3	1-11
Y	----- LOHMANN A W ET AL: "BINARY FRAUNHOFER HOLOGRAMS, GENERATED BY COMPUTER", APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, US, vol. 6, no. 10, 1 October 1967 (1967-10-01), pages 1739-1748, XP000566664, ISSN: 0003-6935, DOI: DOI:10.1364/AO.6.001739 page 1739 - page 1741 ----- -/-	1-11



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 January 2012

Date of mailing of the international search report

26/01/2012

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040,
 Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Sittler, Gilles

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/FR2011/052054

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 449 164 A2 (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD [JP]) 2 October 1991 (1991-10-02) the whole document -----	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2011/052054

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2010081986	A1	22-07-2010	
		AU 2010205540 A1	18-08-2011
		CN 102301287 A	28-12-2011
		EP 2376984 A1	19-10-2011
		FR 2941079 A1	16-07-2010
		WO 2010081986 A1	22-07-2010

EP 0449164	A2	02-10-1991	
		DE 69119960 D1	11-07-1996
		DE 69119960 T2	23-01-1997
		EP 0449164 A2	02-10-1991
		JP 2785427 B2	13-08-1998
		JP 3274586 A	05-12-1991
		US 5119214 A	02-06-1992

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2011/052054

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. G03H1/08
ADD.

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
G03H

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	WO 2010/081986 A1 (COMMISSARIAT ENERGIE ATOMIQUE [FR]; MARTINEZ CHRISTOPHE [FR]; REY ALAI) 22 juillet 2010 (2010-07-22) abrégé pages 3,9,10 revendication 1 figure 3	1-11
Y	LOHMANN A W ET AL: "BINARY FRAUNHOFER HOLOGRAMS, GENERATED BY COMPUTER", APPLIED OPTICS, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, US, vol. 6, no. 10, 1 octobre 1967 (1967-10-01), pages 1739-1748, XP000566664, ISSN: 0003-6935, DOI: DOI:10.1364/AO.6.001739 page 1739 - page 1741 ----- -/-	1-11



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

19 janvier 2012

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

26/01/2012

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Sittler, Gilles

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2011/052054

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 0 449 164 A2 (MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD [JP]) 2 octobre 1991 (1991-10-02) le document en entier -----	1-11

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2011/052054

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2010081986 A1	22-07-2010	AU 2010205540 A1	18-08-2011
		CN 102301287 A	28-12-2011
		EP 2376984 A1	19-10-2011
		FR 2941079 A1	16-07-2010
		WO 2010081986 A1	22-07-2010

EP 0449164 A2	02-10-1991	DE 69119960 D1	11-07-1996
		DE 69119960 T2	23-01-1997
		EP 0449164 A2	02-10-1991
		JP 2785427 B2	13-08-1998
		JP 3274586 A	05-12-1991
		US 5119214 A	02-06-1992
