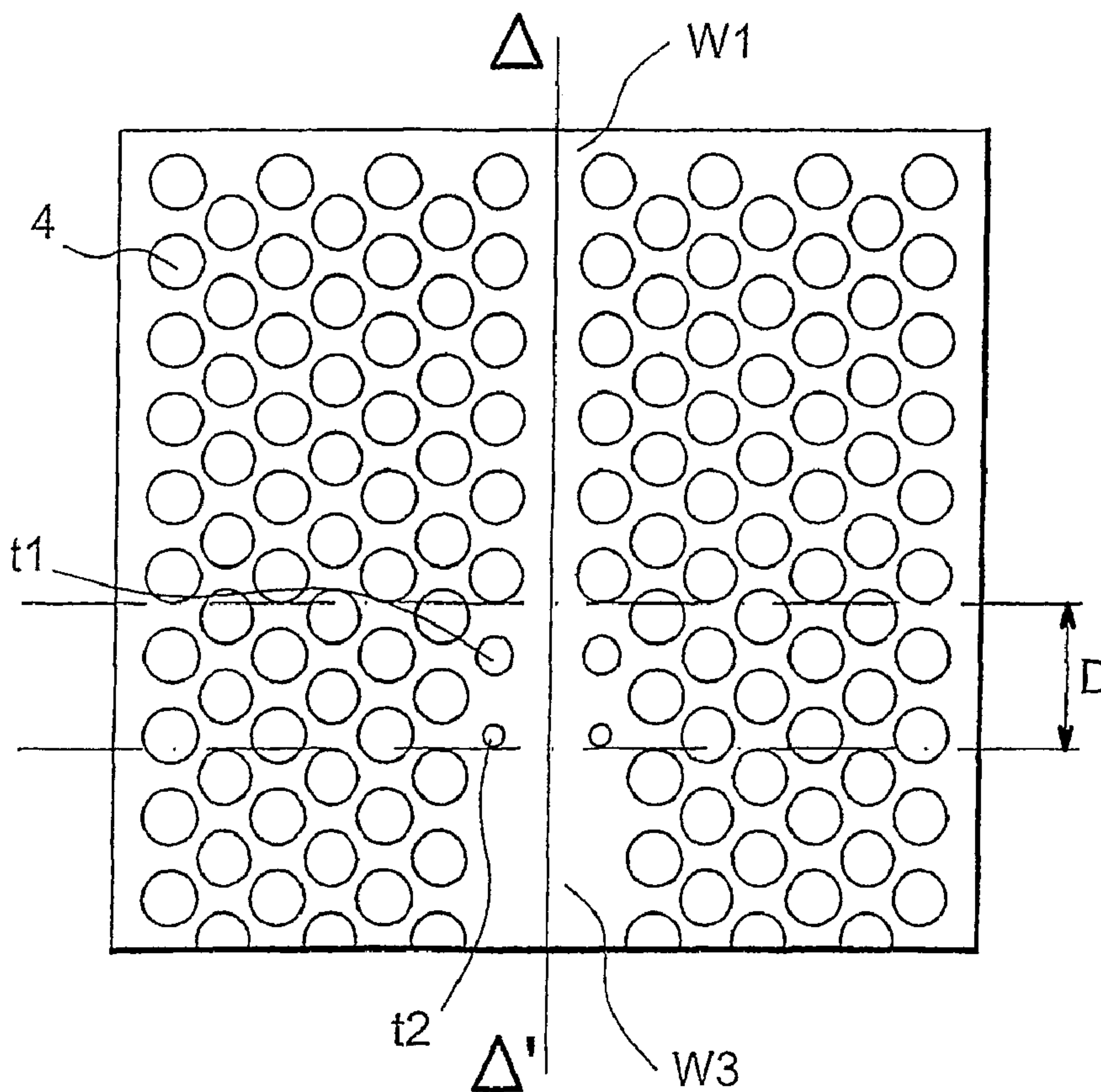




(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2002/11/21
 (87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2003/05/30
 (45) Date de délivrance/Issue Date: 2012/05/22
 (85) Entrée phase nationale/National Entry: 2004/05/13
 (86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2002/003993
 (87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2003/044579
 (30) Priorité/Priority: 2001/11/21 (FR01/15057)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *G02B 6/122* (2006.01),
G02B 6/14 (2006.01)
 (72) Inventeurs/Inventors:
TALNEAU, ANNE JULIETTE, FR;
LALANNE, PHILIPPE, FR
 (73) Propriétaire/Owner:
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE, FR
 (74) Agent: GOUDREAU GAGE DUBUC

(54) Titre : STRUCTURE A CRISTAL PHOTONIQUE POUR LA CONVERSION DE MODE
 (54) Title: PHOTONIC CRYSTAL STRUCTURE FOR MODE CONVERSION



(57) Abrégé/Abstract:

L'invention concerne une structure de propagation guidée à cristal photonique. La structure comprend :- une portion de guide W_n , n étant un nombre réel positif ou nul, présentant une première configuration de rangées de motifs (4),- une portion de guide W_m ,

(57) **Abrégé(suite)/Abstract(continued):**

m étant un nombre réel, $m > n$, présentant une deuxième configuration de rangées de motifs, et- une zone de transition d'étendue D située entre la portion de guide W_n et la portion de guide W_m , dans laquelle des motifs alignés (t_1 , t_2) avec au moins une rangée de motifs de la première configuration diminuent de taille sur l'étendue D pour permettre un passage progressif de la première configuration de rangées de motifs à la deuxième configuration de rangées de motifs. L'invention s'applique dans le domaine de l'optique intégrée (lasers à semi-conducteur, lasers-modulateurs, filtres, multiplexeurs, etc.).

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
30 mai 2003 (30.05.2003)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2003/044579 A3(51) Classification internationale des brevets⁷ : G02B 6/122(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2002/003993(22) Date de dépôt international :
21 novembre 2002 (21.11.2002)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
01/15057 21 novembre 2001 (21.11.2001) FR(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) :
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE [FR/FR]; 3, rue Michel Ange, F-75794 Paris
cedex 16 (FR).

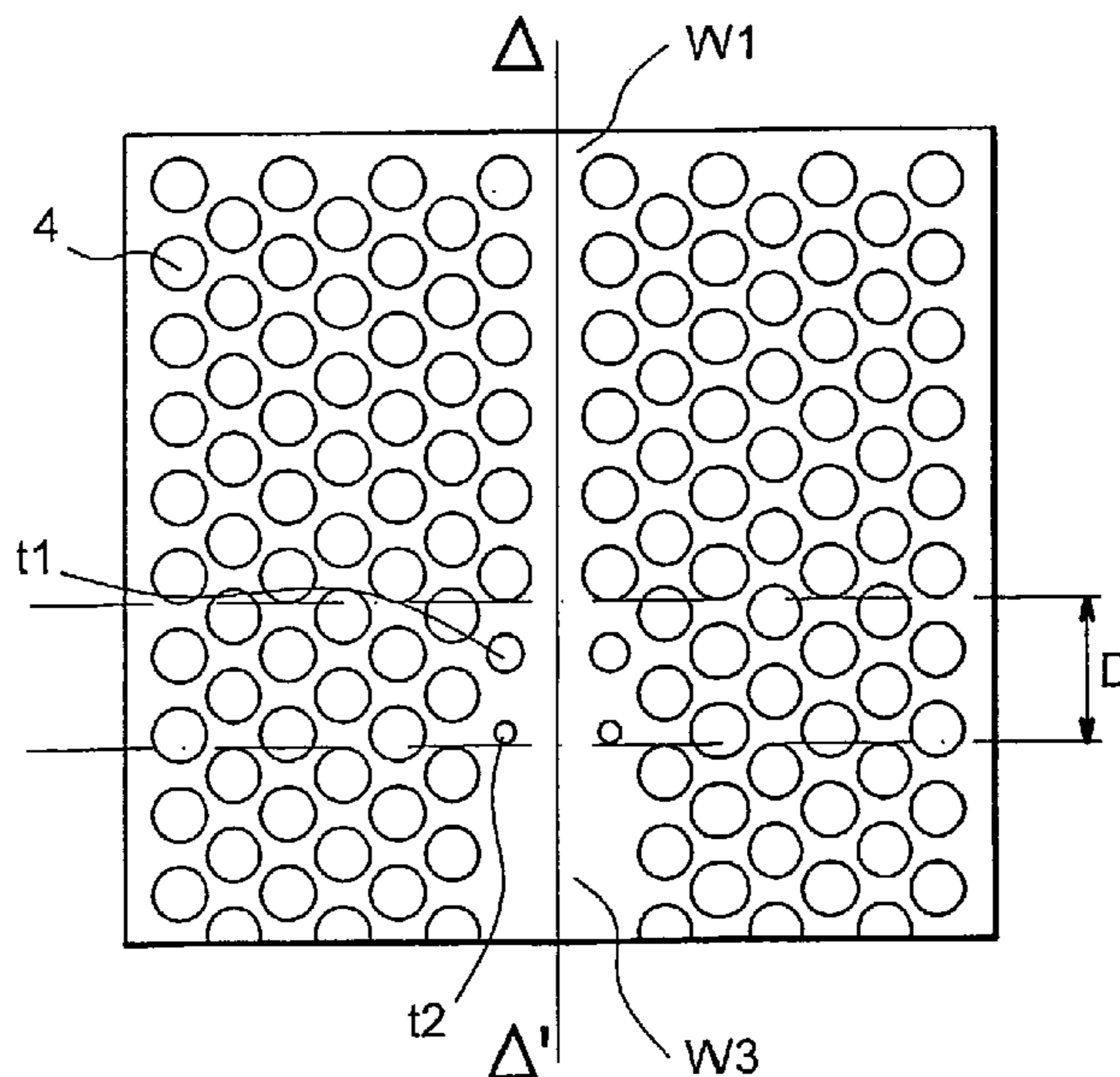
(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : TALNEAU,
Anne, Juliette [FR/FR]; 69, rue Dunois, F-75013 Paris
(FR). LALANNE, Philippe [FR/FR]; 18, résidence du
Parc d'Ardenay, F-91120 Palaiseau (FR).(74) Mandataire : RICHARD, Patrick; c/o Brevatone, 3, rue
du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,
DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG,
SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ,
VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: PHOTONIC CRYSTAL STRUCTURE FOR MODE CONVERSION

(54) Titre : STRUCTURE A CRISTAL PHOTONIQUE POUR LA CONVERSION DE MODE

(57) Abstract: The invention concerns a photonic crystal structure for guided propagation, said structure comprising: a guide portion W_n, n being a positive or null real number, having a first configuration of pattern rows (4); a guide portion W_m, m being a real number, m > n, having a second configuration of pattern rows, and a transition zone of extent D located between the guide portion W_n and the guide portion W_m, wherein the patterns aligned (t₁, t₂) with at least a row of patterns of the first configuration decrease in size over the extent D to enable the gradual shift from the first configuration of pattern rows to the second configuration of pattern rows. The invention is applicable in the field of integrated optics (semiconductor lasers, modulating lasers, filters, multiplexers and the like).

[Suite sur la page suivante]

WO 2003/044579 A3

WO 2003/044579 A3

(84) **États désignés (régional)** : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

(88) **Date de publication du rapport de recherche internationale:**

19 février 2004

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

(57) **Abrégé** : L'invention concerne une structure de propagation guidée à cristal photonique. La structure comprend :- une portion de guide W_n , n étant un nombre réel positif ou nul, présentant une première configuration de rangées de motifs (4), - une portion de guide W_m , m étant un nombre réel, $m > n$, présentant une deuxième configuration de rangées de motifs, et- une zone de transition d'étendue D située entre la portion de guide W_n et la portion de guide W_m , dans laquelle des motifs alignés (t_1 , t_2) avec au moins une rangée de motifs de la première configuration diminuent de taille sur l'étendue D pour permettre un passage progressif de la première configuration de rangées de motifs à la deuxième configuration de rangées de motifs. L'invention s'applique dans le domaine de l'optique intégrée (lasers à semi-conducteur, lasers-modulateurs, filtres, multiplexeurs, etc.).

**STRUCTURE A CRISTAL PHOTONIQUE
POUR LA CONVERSION DE MODE**

Domaine technique et art antérieur

5 La présente invention concerne une structure à cristal photonique pour la conversion de mode.

 L'invention s'applique dans le domaine de l'optique intégrée.

 Selon l'art connu, un convertisseur ou
10 transformateur de mode a pour fonction de transformer un premier mode optique qui se propage dans une première structure de propagation guidée en un deuxième mode optique apte à se propager dans une deuxième structure de propagation guidée. Les deux structures de
15 propagation guidée peuvent soit faire partie d'un même circuit intégré photonique, soit faire partie de deux circuits séparés. Une structure de propagation guidée peut être, par exemple, une fibre optique.

 La figure 1 représente une structure de
20 propagation guidée à confinement vertical selon l'art connu. La lumière se propage dans la direction z . Dans la direction verticale y , la lumière est confinée dans une couche 1 de matériau de fort indice n_1 prise en sandwich entre deux couches de matériau d'indices plus
25 faibles n_2 et n_3 . Dans la direction latérale x , la lumière est confinée dans le milieu d'indice n_1 soit par une charge du matériau (ruban chargé) soit par un autre matériau (ruban gravé), cet autre matériau pouvant être de l'air. Les matériaux d'indices n_1 , n_2 ,
30 n_3 peuvent être des matériaux semi-conducteurs, diélectriques ou métalliques. La taille et la forme du

ou des modes de propagation supportés par la structure représentée en figure 1 dépendent de la géométrie de la structure et de la valeur des indices n_1 , n_2 , n_3 .

Une autre structure de propagation est représentée en figure 2. La figure 2 est une vue de dessus d'une structure de propagation à cristal photonique.

La structure à cristal photonique est constituée d'un ensemble de motifs 4 alignés. Les motifs 4 peuvent être, par exemple, des trous gravés dans un matériau ou encore des piliers rassemblés les uns à côté des autres. Dans le cadre d'une application à une dimension, les motifs peuvent être des tranchées parallèles gravées dans le matériau.

Différents types de guides de propagation peuvent être réalisés dans une structure à cristal photonique. Un premier type de guide est constitué d'une structure à cristal photonique dans laquelle n rangées de motifs voisines sont absentes. Dans la suite de la description, ce premier type de guide sera nommé « guide W_n ». A titre d'exemple non limitatif, la figure 2 représente une structure dans laquelle une seule rangée de motifs est absente. Le guide est alors un guide W_1 . La propagation de l'onde s'appuie sur la zone dépourvue de motifs (zone de largeur d sur la figure 2). D'autres types de guide sont également connus tels que, par exemple, les structures à cristal photonique dans lesquelles la zone dépourvue de rangées de motifs ne correspond pas à l'absence d'un nombre entier de rangées mais à l'absence d'un nombre non entier de rangées (guides W_n avec n réel) ou encore,

les structures à cristal photoniques dans lesquelles sont réalisés des motifs de forme et/ou de taille différentes, par exemple des trous de dimensions différentes.

5 Une structure de propagation guidée est optimisée pour assurer au mieux une fonction donnée. C'est la géométrie de la structure qui fixe le ou les mode(s) de propagation. Une conversion de mode est très souvent nécessaire pour passer d'une première structure
10 de propagation assurant une première fonction à une deuxième structure de propagation assurant une autre fonction. Idéalement, la conversion de mode permet de coupler la quasi-totalité de la lumière qui sort de la première structure dans la deuxième structure, de
15 rendre négligeable la réflexion et les pertes par diffusion de l'onde à l'interface entre les structures et de considérablement relâcher les tolérances d'alignement entre les fonctions, lequel alignement représente souvent un important coût de fabrication.

20 Des exemples de convertisseurs de mode selon l'art connu sont représentés aux figures 3, 4 et 5.

Le convertisseur de mode représenté en figure 3 est divulgué dans le document intitulé « *Spot Size Converter for Low Cost PICs* » (K.D.Mesel, I.Moerman,
25 R.Baets, B.Dhoedt, P.Vandaele and J.Stulemeijer, ECIO'99, ThC2).

Le convertisseur de la figure 3 est un convertisseur de type latéral. Un milieu 5 d'indice n_1 est pris en sandwich entre deux milieux 6 et 7
30 d'indices respectifs n_2 et n_3 . La conversion de mode est réalisée par l'élargissement continu du milieu 5

selon la direction de propagation de l'onde. L'élargissement du milieu de propagation qui permet de passer d'un premier à un deuxième mode de propagation doit se faire sur une distance suffisamment longue pour
5 obtenir de bonnes performances. A titre d'exemple, la distance l sur laquelle l'élargissement est effectué peut être comprise entre $100\ \mu\text{m}$ à $200\ \mu\text{m}$. La plage des longueurs d'onde concernées est alors celle du proche Infrarouge (longueurs d'onde comprises entre $0,8\ \mu\text{m}$ et
10 $2\ \mu\text{m}$).

Un deuxième exemple de convertisseur de mode selon l'art connu est représenté en figure 4. Ce deuxième exemple de convertisseur est divulgué dans le document intitulé « *Tapered Couplers for Efficient*
15 *Interfacing Between Dielectric and Photonic Crystal Waveguides* » (Attila Mekis et J.D.Joannopoulos ; Journal of Lightwave Technology, vol.19, No.6, June 2001).

Le convertisseur de la figure 4 permet de
20 passer d'un mode de propagation en guide diélectrique de type ruban à un mode de propagation en guide à cristal photonique. Le guide ruban de largeur W pénètre dans la structure à cristal photonique sur une distance a puis se rétrécit en pointe sur une distance b .

25 Un troisième exemple de convertisseur de mode selon l'art connu est représenté en figure 5. Ce troisième exemple de convertisseur est divulgué dans le document intitulé « *Observation of light propagation in two-dimensional photonic crystal-based bent optical*
30 *waveguides* » (S.Yamada et al.; Journal of Applied Physics, vol.89, N°2, 15 January 2001).

Le convertisseur de la figure 5 permet une transition entre un guide d'onde bidimensionnel et un guide à cristal photonique. La transition est ici assurée par la forme en entonnoir de la région 5 dépourvue de motifs du guide à cristal photonique. Une bonne adaptation n'est possible que si la région en forme d'entonnoir est suffisamment longue.

D'une façon générale, il apparaît que les convertisseurs de mode selon l'art connu nécessitent 10 d'être réalisés sur des distances suffisamment grandes dans le sens de propagation de l'onde pour pouvoir fonctionner correctement. Ces grandes distances présentent des inconvénients. Elles sont en effet préjudiciables pour la réalisation des circuits, en 15 particulier ceux devant atteindre de bonnes performances dynamiques. Par exemple, pour moduler directement un laser à 10 Gb/s, il est préférable que sa longueur ne soit pas supérieure à 100 μm . Il n'est donc pas possible d'équiper un tel laser avec un 20 convertisseur de mode selon l'art connu. Par ailleurs, une quantité non négligeable de matériau est nécessaire pour la réalisation de ces convertisseurs, ce qui conduit à augmenter très sensiblement les dimensions et donc le coût des composants.

25 L'invention ne présente pas les inconvénients mentionnés ci-dessus.

Exposé de l'invention

En effet, l'invention concerne une structure de 30 propagation guidée à cristal photonique comprenant une portion de guide W_n , n étant un nombre réel positif ou

nul, présentant une première configuration de rangées de motifs. La structure comprend, en outre :

- une portion de guide W_m , m étant un nombre réel, $m > n$, présentant une deuxième configuration de rangées de motifs, et
- une zone de transition d'étendue D située entre la portion de guide W_n et la portion de guide W_m , dans laquelle des motifs alignés avec au moins une rangée de motifs de la première configuration diminuent de taille sur l'étendue D pour permettre un passage progressif de la première configuration de rangées de motifs à la deuxième configuration de rangées de motifs.

L'invention concerne également une transition entre un guide ruban et un guide à cristal photonique. La transition comprend une structure de propagation guidée à cristal photonique telle que celle selon l'invention mentionnée ci-dessus.

L'invention concerne encore une structure de propagation guidée comprenant un premier guide d'onde, un deuxième guide d'onde et un convertisseur de mode entre le premier et le deuxième guide d'onde. Le convertisseur de mode est une structure de propagation guidée à cristal photonique telle que celle selon l'invention mentionnée ci-dessus.

L'invention concerne encore une cavité à cristal photonique. La cavité comprend successivement :

- une portion de guide W_i présentant une première configuration de rangées de motifs,

- une première portion de guide W_0 formant miroir et présentant une deuxième configuration de rangées de motifs,
- 5 - une portion de guide W_j présentant une troisième configuration de rangées de motifs,
- une deuxième portion de guide W_0 formant miroir et présentant une quatrième configuration de rangées de motifs identique à la deuxième configuration,
- 10 - une portion de guide W_k présentant une cinquième configuration de rangées de motifs, et
- une succession de zones de transition, une zone de transition étant placée entre deux portions de guide successives de sorte que l'ensemble formé par une zone de transition et les deux portions de guide qui
15 entourent la zone de transition constituent une structure de propagation guidée à cristal photonique telle que celle selon l'invention mentionnée ci-dessus.

Un convertisseur de mode selon l'invention
20 comprend donc au moins une série de motifs de taille progressivement variable entre deux guides d'onde. Avantageusement, cette structure a une longueur finie D de petite dimension (typiquement quelques longueurs d'onde). La variation progressive de la taille des
25 motifs permet un passage progressif entre les deux guides d'onde. Ce passage progressif opère une conversion de mode (conversion progressive d'un mode de propagation qui se propage dans le premier guide en un mode de propagation qui se propage dans le deuxième
30 guide).

L'invention s'appuie sur le principe physique selon lequel, lorsqu'une onde électromagnétique de longueur d'onde légèrement plus grande que la dimension caractéristique d'une structure interagit avec cette structure, cette onde ne se diffracte pas au sens usuel du terme. Tout se passe comme si l'onde se propageait dans un matériau continu, communément appelé matériau artificiel, dont l'indice dépend, en premier lieu, de la quantité de matériau gravé. L'onde électromagnétique ne voit pas le détail des motifs gravés qui constituent la structure. Elle n'est alors sensible qu'à une moyenne locale.

La structure de propagation selon l'invention permet avantageusement de réaliser des transitions optiques courtes et à très faibles pertes.

Brève description des figures

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture d'un mode de réalisation préférentiel de l'invention fait en référence aux figures jointes parmi lesquelles :

- la figure 1 représente une première structure de propagation guidée selon l'art connu,
- la figure 2 représente une deuxième structure de propagation guidée selon l'art connu,
- la figure 3 représente un premier exemple de convertisseur de mode selon l'art connu,
- la figure 4 représente un deuxième exemple de convertisseur de mode selon l'art connu,
- la figure 5 représente un troisième exemple de convertisseur de mode selon l'art connu,

- la figure 6 représente un premier exemple de convertisseur de mode selon l'invention,
- la figure 7 représente une première application d'un convertisseur de mode selon l'invention,
- 5 - les figures 8A et 8B représentent, à titre d'exemples, des circuits de principe permettant d'illustrer les performances d'un convertisseur de mode selon l'invention,
- la figure 9 représente une photographie d'un
10 convertisseur de mode selon l'invention,
- la figure 10 représente une deuxième application d'un convertisseur de mode selon l'invention,
- la figure 11 représente un deuxième exemple de convertisseur de mode selon l'invention,
- 15 - la figure 12 représente un troisième exemple de convertisseur de mode selon l'invention,
- la figure 13 représente un premier exemple de cavité à cristal photonique selon l'invention,
- la figure 14 représente un deuxième exemple de cavité
20 à cristal photonique selon l'invention.

Sur toutes les figures, les mêmes références désignent les mêmes éléments.

Dans la suite de la description, la plupart des structures de propagation guidée selon l'invention sont
25 des convertisseurs de mode qui permettent de passer d'un guide W_n à un guide W_m , $n \neq m$, n et m étant des nombres entiers. L'invention concerne également des structures à cristal photonique qui permettent de passer d'un premier guide quelconque à un deuxième
30 guide quelconque. Les premier et deuxième guides peuvent alors être non seulement des guides W_n , n

entier, mais également, par exemple, des structures à cristal photonique dans lesquelles la zone dépourvue de rangées de motifs correspond à un nombre non entier de rangées (guides W_n avec n réel), des structures à
5 cristal photonique dans lesquelles c'est la taille des trous et non leur absence qui crée la zone de guidage, ou encore des guides ruban.

10 Description détaillée de modes de mise en œuvre de l'invention

Les figures 1, 2, 3, 4 et 5 ont été décrites précédemment, il est donc inutile d'y revenir.

La figure 6 représente une vue de dessus d'un premier exemple de convertisseur de mode selon
15 l'invention. Le convertisseur de mode est réalisé dans une structure à cristal photonique constituée d'un ensemble de motifs 4. Les motifs 4 sont, par exemple, des trous d'air obtenus par gravure d'un matériau semi-conducteur. Le confinement vertical de l'onde qui se
20 propage est assuré par une couche de fort indice (GaInAsP) d'épaisseur, par exemple, égale à 500 nm située entre deux couches de matériau d'indice plus faible (InP). Les trous d'air sont placés dans le sens de la propagation de l'onde et définissent, par
25 exemple, un réseau triangulaire dont la maille est égale à 450 nm. Le diamètre des trous peut être égal, par exemple, à 300 nm et la profondeur à 1 μ m. Une gravure isotrope, par exemple une gravure sèche par plasma, est utilisée pour réaliser les trous. Le
30 convertisseur opère la conversion d'un mode de guide W_1 en un mode de guide W_3 et réciproquement.

La partie de guide W1 est caractérisée par l'absence d'une rangée de trous dans la structure à cristal photonique et la partie de guide W3 est caractérisée par l'absence de trois rangées de trous dans cette même structure. Les parties de guide W1 et W3 sont naturellement alignées selon un même axe $\Delta\Delta'$. La transition de la partie de guide W1 à la partie de guide W3 s'effectue par interruption, avec diminution de diamètre, des trous des deux rangées qui définissent la partie de guide W1. Comme cela est représenté sur la figure 6, deux trous t1, t2 peuvent suffire pour assurer la transition sur une rangée. A titre d'exemple non limitatif, pour un diamètre de trou de la structure à cristal photonique de 300 nm comme mentionné ci-dessus, les trous t1 et t2 ont des diamètres respectifs de 200 nm et 100 nm. Avantageusement, la distance D sur laquelle les trous voient leur diamètre diminuer est relativement faible. Dans le cas de l'exemple ci-dessus, la distance D vaut, par exemple, environ 700 nm. Les trous de plus petits diamètres peuvent ou non être gravés moins profondément que les trous de plus grands diamètres.

Préférentiellement, les trous sont fabriqués sur une grille régulière qui est la grille du cristal photonique. C'est alors pendant l'étape de lithographie électronique, qui permet de définir le cristal photonique que les diamètres des trous sont ajustés. Il faut toutefois noter que l'utilisation de la grille régulière du cristal photonique pour fabriquer le matériau artificiel n'est qu'une commodité de fabrication. Les trous peuvent également être

positionnés sur des emplacements différents, leur dimension et leur profondeur étant alors ajustées en conséquence. Le positionnement des trous peut alors ne pas être périodique.

5 Selon le mode de réalisation de l'invention décrit ci-dessus, les motifs qui définissent la structure à cristal photonique sont des trous d'air. L'invention concerne également le cas où les motifs sont faits d'un matériau d'indice différent de 1
10 rapporté dans des trous formés dans le cristal, par exemple le cas où du cristal liquide emplit les trous. Les motifs peuvent également être réalisés par des piliers. Ces piliers peuvent être, par exemple, de section carrée ou rectangulaire, mais toute autre forme
15 de section est également possible.

La figure 7 représente une première application d'un convertisseur de mode selon le premier exemple de l'invention. Le dispositif représenté en figure 7 est une transition entre un guide ruban 8 et un guide à
20 cristal photonique.

Il est connu de l'homme de l'art que le guide W1 est un guide avantageux pour guider une onde optique dans une structure à cristal photonique. Comme cela va être montré ci-dessous, l'invention permet de réaliser
25 simplement et avec d'excellentes performances un couplage entre un guide ruban et un guide à cristal photonique W1.

En effet, la transition directe entre un guide ruban et un guide à cristal photonique W3 est connue
30 pour présenter de bonnes performances en transmission. Comme cela a été décrit ci-dessus, la conversion de

mode à l'aide d'un convertisseur à cristal photonique W3/W1 selon l'invention présente également de bonnes performances. Il s'ensuit que la conversion de mode selon l'invention entre un guide ruban et un guide à
5 cristal photonique W1 donne des résultats particulièrement avantageux.

Les figures 8A et 8B représentent, à titre d'exemples, des circuits de principe permettant d'illustrer les performances d'un convertisseur de mode
10 selon l'invention.

La figure 8A représente une structure de référence qui n'est pas une structure selon l'invention et qui est constituée, successivement, d'un premier guide ruban 9, d'un guide à cristal photonique W3 et
15 d'un deuxième guide ruban 10.

La figure 8B représente une structure selon l'invention qui est constituée, successivement, d'un premier guide ruban 11, d'une structure à cristal photonique comprenant en série une transition W3/W1 et
20 une transition W1/W3 et d'un deuxième guide ruban 12.

La largeur des rubans 9, 10, 11, 12 est par exemple choisie égale à $220 \times \sqrt{12}$ nm. Les références T_i et R_i ($i = 1, 2$) représentent, respectivement, les intensités transmises et réfléchies dans le mode
25 fondamental TE_{00} des guides ruban. I_E représente l'intensité de l'onde incidente.

Le cristal photonique est supposé gravé dans un guide planaire composé d'un cœur d'indice 3,5, d'un substrat d'indice 3 et d'une couche supérieure d'indice
30 3,4 et d'épaisseur 330 nm. Les trous 4 du cristal photonique ont un diamètre de 130 nm, une profondeur de

900 nm et sont disposés sur une maille triangulaire de période 220 nm. Comme cela apparaît sur la figure 8B, deux trous t_1 et t_2 assurent, selon une rangée, la transition W_1/W_3 ou la transition W_3/W_1 . Le trou t_1 est, par exemple, de diamètre 88 nm et le trou t_2 , par exemple, de diamètre 44 nm. Un calcul a été effectué avec une théorie électromagnétique exacte à 3 dimensions. Sur l'ensemble de l'intervalle spectral correspondant à la bande interdite du cristal photonique (i.e. $0,75 \mu\text{m} < \lambda < 0,98 \mu\text{m}$), des valeurs moyennes pour T_1 , T_2 et R_1 respectivement égales à 83%, 96% et 1% ont été obtenues (les pourcentages sont ici calculés en référence à une intensité incidente I_E de 100%).

Le circuit de la figure 8B comprend deux transitions. Il s'en suit que la valeur moyenne de couplage d'une seule transition ($\sqrt{T_2/T_1}$) est égale à 93%. Cette valeur excellente par rapport à celle obtenue à l'aide d'une transition de l'art connu est avantageusement obtenue pour un couplage très court (typiquement 660 nm) et pour une large plage spectrale ($\Delta\lambda/\lambda > 25\%$).

La figure 9 représente la photographie d'un convertisseur de mode W_3/W_1 (et réciproquement W_1/W_3) selon l'invention. La distance entre deux trous est typiquement égale à 450 nm.

Les mesures de réflexion de puissance réalisées sur ce convertisseur ont conduit à de très bons résultats. Les longueurs d'onde utilisées étaient comprises entre 1500 nm et 1590 nm, longueurs d'onde pour lesquelles le matériau semi-conducteur utilisé est

transparent. Un coefficient de réflexion sur la puissance inférieur à 1% a été mesuré. A titre de comparaison, le coefficient de réflexion d'une transition W1/W3 dépourvue de diminution progressive du diamètre des trous (cas où les deux rangées de trous qui définissent le guide W1 s'interrompent brutalement) est sensiblement égal à 25%.

La figure 10 représente une deuxième application d'un convertisseur de mode selon le premier exemple de l'invention.

Le circuit représenté en figure 10 est un virage réalisé dans un guide à cristal photonique. Comme cela est connu de l'homme de l'art, toute perturbation qui apparaît le long d'un guide de propagation est source de désadaptation et conduit à une réflexion partielle de l'onde qui se propage. Il s'ensuit des pertes en transmission. De ce point de vue, un virage peut être considéré comme une perturbation. A courbure égale, il est connu qu'un virage dans un guide Wn présente moins de pertes qu'un virage dans un guide Wm, pour $n < m$. Le convertisseur de mode selon l'invention permet avantageusement de concevoir des structures dans lesquelles le guide de propagation est un guide Wm dans les parties droites et un guide Wn ($n < m$) dans les virages.

A titre d'exemple non limitatif, la figure 10 illustre une structure guidée à cristal photonique en forme de virage qui comprend une transition W3/W1, un virage en guide W1 et une transition W1/W3. Les performances de propagation s'en trouvent très avantageusement améliorées.

La figure 11 représente un deuxième exemple de convertisseur de mode selon l'invention. Le convertisseur de mode selon le deuxième exemple permet une transition entre un guide W1 et un guide W2. La partie de guide W2 est caractérisée par l'absence de deux rangées de trous dans la structure du cristal. La transition de la partie de guide W1 à la partie de guide W2 s'effectue par interruption, avec diminution de diamètre, des trous d'une des deux rangées qui définissent la partie de guide W1. Comme cela est représenté à titre d'exemple non limitatif sur la figure 9, trois trous t1, t2, t3 peuvent suffire à réaliser la transition. Pour un diamètre de trou de la structure à cristal photonique de 300 nm, les trois trous t1, t2, t3 peuvent avoir pour diamètres respectifs 200 nm, 100 nm, 50 nm. Selon ce deuxième exemple de convertisseur de mode, les parties de guide W1 et W2 ne sont pas alignées selon le même axe. Il a été constaté que ce désalignement n'était pas préjudiciable aux performances de la transition.

La figure 12 représente un troisième exemple de convertisseur de mode selon l'invention. Selon ce troisième exemple, le convertisseur de mode opère la transition entre un guide à cristal photonique de type W1 et un guide à cristal photonique de type W3. Par guide à cristal photonique de type W1 il faut entendre un guide W1 tel que défini ci-dessus dans lequel la partie centrale, au lieu d'être dépourvue de trous, est munie d'une rangée de trous t4 de petites dimensions par rapport aux trous principaux 4 de la structure. De même, par guide à cristal photonique de type W3, il

faut entendre un guide W3 tel que défini ci-dessus dans lequel la partie centrale, au lieu d'être dépourvue de trous, est munie de trois rangées de trous de plus petites dimensions que les trous principaux 4, par exemple également des trous t4.

La transition entre un guide de type W1 et un guide de type W3 s'effectue par des trous dont le diamètre diminue. Deux trous t1 et t2 peuvent alors suffire pour assurer la transition entre une rangée de trous 4 du guide de type W1 et une rangée de trous t4 du guide de type W3. Un nombre de trous supérieur à deux peut également assurer la transition.

La figure 13 représente un premier exemple de cavité à cristal photonique réalisée à l'aide de convertisseurs de mode selon l'invention. La cavité est définie par deux miroirs M1 et M2. Chacun des deux miroirs est réalisé, par exemple, par deux trous ta, tb. Chaque miroir peut être identifié à un guide Wn pour lequel n=0 (aucune rangée de motifs n'est alors absente). La cavité à cristal photonique peut ainsi être considérée comme formée de cinq portions de guide successives W1, W0, W1, W0 et W1, une zone de transition constituée, par exemple, de deux trous t1 et t2 dont le diamètre varie, étant située entre deux portions de guide successives. Un ensemble formé par une zone de transition et les deux portions de guide qui entourent cette zone constitue une structure de propagation guidée à cristal photonique selon l'invention.

La cavité obtenue présente avantageusement un facteur de qualité plus élevée et des pertes plus

faibles qu'une cavité dépourvue de convertisseurs de mode selon l'invention.

La figure 14 représente un deuxième exemple de cavité à cristal photonique selon l'invention. Les cinq
5 portions de guide successives qui participent à la cavité sont ici des portions de guides W_1 , W_0 , W_3 , W_0 et W_1 . Les portions de guide W_0 constituent chacune un miroir. Un ensemble formé par une zone de transition et les deux portions de guide qui entourent cette zone
10 constitue également une structure de propagation guidée à cristal photonique selon l'invention.

De façon plus générale, les cinq portions de guide successives qui participent à la cavité sont des portions de guide W_i , W_0 , W_j , W_0 et W_k , i , j et k étant
15 des nombres réels positifs.

Les convertisseurs de mode selon l'invention sont avantageusement compatibles avec les guides de propagation basés sur le principe de la réflexion totale interne (cas où la lumière qui se propage dans
20 un milieu à fort indice et qui arrive sur un milieu d'indice plus faible se trouve piégée par réflexion totale du fait du contraste d'indice).

Plus généralement, les convertisseurs de mode selon l'invention permettent de passer de tout guide à
25 réflexion totale interne ou à cristal photonique à tout autre guide à réflexion totale interne ou à cristal photonique. Il est ainsi possible, par exemple, d'optimiser le couplage d'une structure donnée à une fibre optique ou d'associer plusieurs structures de
30 guides d'onde différentes dans un même circuit intégré photonique, ce qui a pour conséquence de permettre une

importante miniaturisation des circuits optiques et, partant, la possibilité d'intégrer de nombreuses fonctions optiques dans un très petit volume.

REVENDICATIONS

1. Structure de propagation guidée à cristal photonique comprenant:

une première portion de guide W_n présentant une première configuration de rangées de motifs, n étant un nombre réel positif ou nul correspondant au nombre de rangées de motifs voisines absentes dans la portion de guide W_n ,

une deuxième portion de guide W_m présentant une deuxième configuration de rangées de motifs, m étant un nombre réel plus grand que n et correspondant au nombre de rangées de motifs voisines absentes dans la portion de guide W_m et

une zone de transition d'étendue D située entre la portion de guide W_n et la portion de guide W_m , dans laquelle des motifs alignés avec au moins une rangée de motifs de la première configuration diminuent de taille sur l'étendue D pour permettre un passage progressif de la première configuration de rangées de motifs à la deuxième configuration de rangées de motifs,

dans laquelle:

les motifs sont des trous ayant un diamètre sensiblement égal à 300 nm dans les première et deuxième portions de guide, et

les trous de la zone de transition qui sont alignés avec une rangée de trous de la première portion de guide et qui diminuent de taille sont au nombre de deux et ont pour diamètres respectifs 200 nm et 100 nm.

2. Structure de propagation guidée selon la revendication 1 dans laquelle les motifs définissent un réseau périodique.

3. Structure de propagation guidée à cristal photonique comprenant:

une première portion de guide W_n présentant une première configuration de rangées de motifs, n étant un nombre réel positif ou nul correspondant au nombre de rangées de motifs voisines absentes dans la portion de guide W_n ,

une deuxième portion de guide W_m présentant une deuxième configuration de rangées de motifs, m étant un nombre réel plus grand que n et correspondant au nombre de rangées de motifs voisines absentes dans la portion de guide W_m et

une zone de transition d'étendue D située entre la portion de guide W_n et la portion de guide W_m , dans laquelle des motifs alignés avec au moins une rangée de motifs de la première configuration diminuent de taille sur l'étendue D pour permettre un passage progressif de la première configuration de rangées de motifs à la deuxième configuration de rangées de motifs,

dans laquelle:

les motifs sont des trous ayant un diamètre sensiblement égal à 300 nm dans les première et deuxième portions de guide et

l'étendue D a une longueur sensiblement égale à 700 nm.

4. Structure de propagation guidée selon la revendication 3 dans laquelle les motifs définissent un réseau périodique.
5. Transition entre un guide ruban et un guide à cristal photonique, la transition comprenant une structure de propagation guidée comprenant:

une portion de guide W_n présentant une première configuration de rangées de motifs, n étant un nombre réel positif ou nul correspondant au nombre de rangées de motifs voisines absentes dans la portion de guide W_n ,

une portion de guide W_m présentant une deuxième configuration de rangées de motifs, m étant un nombre réel plus grand que n et correspondant au

nombre de rangées de motifs voisines absentes dans la portion de guide W_m et

une zone de transition d'étendue D située entre la portion de guide W_n et la portion de guide W_m , dans laquelle des motifs alignés avec au moins une rangée de motifs de la première configuration diminuent de taille sur l'étendue D pour permettre un passage progressif de la première configuration de rangées de motifs à la deuxième configuration de rangées de motifs,

la structure de propagation guidée étant une structure dans laquelle $n=1$ et $m=3$.

6. Structure de propagation guidée comprenant:

un premier guide d'onde,

un deuxième guide d'onde et

un convertisseur de mode entre le premier et le deuxième guide d'onde,

dans laquelle le convertisseur de mode est une structure de propagation guidée comprenant:

une portion de guide W_n présentant une première configuration de rangées de motifs, n étant un nombre réel positif ou nul correspondant au nombre de rangées de motifs voisines absentes dans la portion de guide W_n ,

une portion de guide W_m présentant une deuxième configuration de rangées de motifs, m étant un nombre réel plus grand que n et correspondant au nombre de rangées de motifs voisines absentes dans la portion de guide W_m et

une zone de transition d'étendue D située entre la portion de guide W_n et la portion de guide W_m , dans laquelle des motifs alignés avec au moins une rangée de motifs de la première configuration diminuent de taille sur l'étendue

D pour permettre un passage progressif de la première configuration de rangées de motifs à la deuxième configuration de rangées de motifs,

dans laquelle le premier guide d'onde est un guide à cristal photonique et le deuxième guide d'onde est un guide à cristal photonique comprenant un ensemble de motifs formant miroir.

7. Cavity à cristal photonique comprenant successivement :

une première portion de guide W_i présentant une première configuration de rangées de motifs, i étant un ombre réel positif ou nul correspondant au nombre de rangées de motifs voisines absentes dans la première portion de guide,

une deuxième portion de guide W_0 formant miroir et présentant une deuxième configuration de rangées de motifs, aucune rangée de motifs n'étant absente de la deuxième portion de guide,

une troisième portion de guide W_j présentant une troisième configuration de rangées de motifs, j étant un ombre réel positif ou nul correspondant au nombre de rangées de motifs voisines absentes dans la troisième portion de guide,

une quatrième portion de guide W_0 formant miroir et présentant une quatrième configuration de rangées de motifs identique à la deuxième configuration, aucune rangée de motifs n'étant absente de la quatrième portion de guide,

une cinquième portion de guide W_k présentant une cinquième configuration de rangées de motifs, k étant un ombre réel positif ou nul correspondant au nombre de rangées de motifs voisines absentes dans la cinquième portion de guide, et

une succession de zones de transition, une zone de transition étant placée entre deux portions de guide successives de sorte que l'ensemble formé par

une zone de transition et les deux portions de guide qui entourent la zone de transition constituent une structure de propagation guidée à cristal photonique comprising:

une portion de guide W_n présentant une sixième configuration de rangées de motifs, n étant un nombre réel positif ou nul correspondant au nombre de rangées de motifs voisines absentes dans la portion de guide W_n ,

une portion de guide W_m présentant une septième configuration de rangées de motifs, m étant un nombre réel plus grand que n et correspondant au nombre de rangées de motifs voisines absentes dans la portion de guide W_m et

une zone de transition d'étendue D située entre la portion de guide W_n et la portion de guide W_m , dans laquelle des motifs alignés avec au moins une rangée de motifs de la sixième configuration diminuent de taille sur l'étendue D pour permettre un passage progressif de la sixième configuration de rangées de motifs à la septième configuration de rangées de motifs.

8. Cavité à cristal photonique selon la revendication 7, dans laquelle $i=k$.
9. Cavité à cristal photonique selon la revendication 8, dans laquelle $i=1$ et $j=1$.
10. Cavité à cristal photonique selon la revendication 8, caractérisée en ce que $i=1$ et $j=3$.
11. Structure de propagation guidée à cristal photonique comprenant:

une portion de guide W_n présentant une première configuration de rangées de trous, n étant un nombre réel positif ou nul correspondant au nombre de rangées de trous voisines absentes dans la portion de guide W_n ,

une portion de guide W_m présentant une deuxième configuration de rangées de trous, m étant un nombre réel plus grand que n et correspondant au nombre de rangées de trous voisines absentes dans la portion de guide W_m , et

une zone de transition d'étendue D située entre la portion de guide W_n et la portion de guide W_m , dans laquelle des trous alignés avec au moins une rangée de trous de la première configuration diminuent de taille en trois dimensions sur l'étendue D pour permettre un passage progressif de la première configuration de rangées de trous à la deuxième configuration de rangées de trous,

dans laquelle

les trous situés dans la zone de transition sont de moins en moins profonds pour passer de la première portion de guide à la deuxième portion de guide et

les trous ont un diamètre sensiblement égal à 300 nm dans les première et deuxième portions de guide.

12. Structure de propagation guidée selon la revendication 11, dans laquelle les motifs définissent un réseau périodique.
13. Structure de propagation guidée selon la revendication 11, dans laquelle les trous de la zone de transition qui sont alignés avec une rangée de trous de la première portion de guide et qui diminuent de taille sont au nombre de deux et ont pour diamètres respectifs 200 nm et 100 nm.
14. Structure de propagation guidée selon la revendication 11, dans laquelle l'étendue D a une longueur sensiblement égale à 700 nm.
15. Structure de propagation guidée selon la revendication 11, dans laquelle des pièces en matériau d'indice sont rapportées dans des trous formés dans le cristal photonique.

16. Structure de propagation guidée à cristal photonique comprenant:

une portion de guide W_n présentant une première configuration de rangées de trous, n étant un nombre réel positif ou nul correspondant au nombre de rangées de trous voisines absentes dans la portion de guide W_n ,

une portion de guide W_m présentant une deuxième configuration de rangées de trous, m étant un nombre réel plus grand que n et correspondant au nombre de rangées de trous voisines absentes dans la portion de guide W_m et

une zone de transition d'étendue D située entre la portion de guide W_n et la portion de guide W_m , dans laquelle des trous alignés avec au moins une rangée de trous de la première configuration diminuent de taille en trois dimensions sur l'étendue D pour permettre un passage progressif de la première configuration de rangées de trous à la deuxième configuration de rangées de trous,

dans laquelle :

les trous situés dans la zone de transition sont de moins en moins profonds pour passer de la première portion de guide à la deuxième portion de guide et

les trous définissent un réseau périodique triangulaire dont la maille est sensiblement égale à 450 nm.

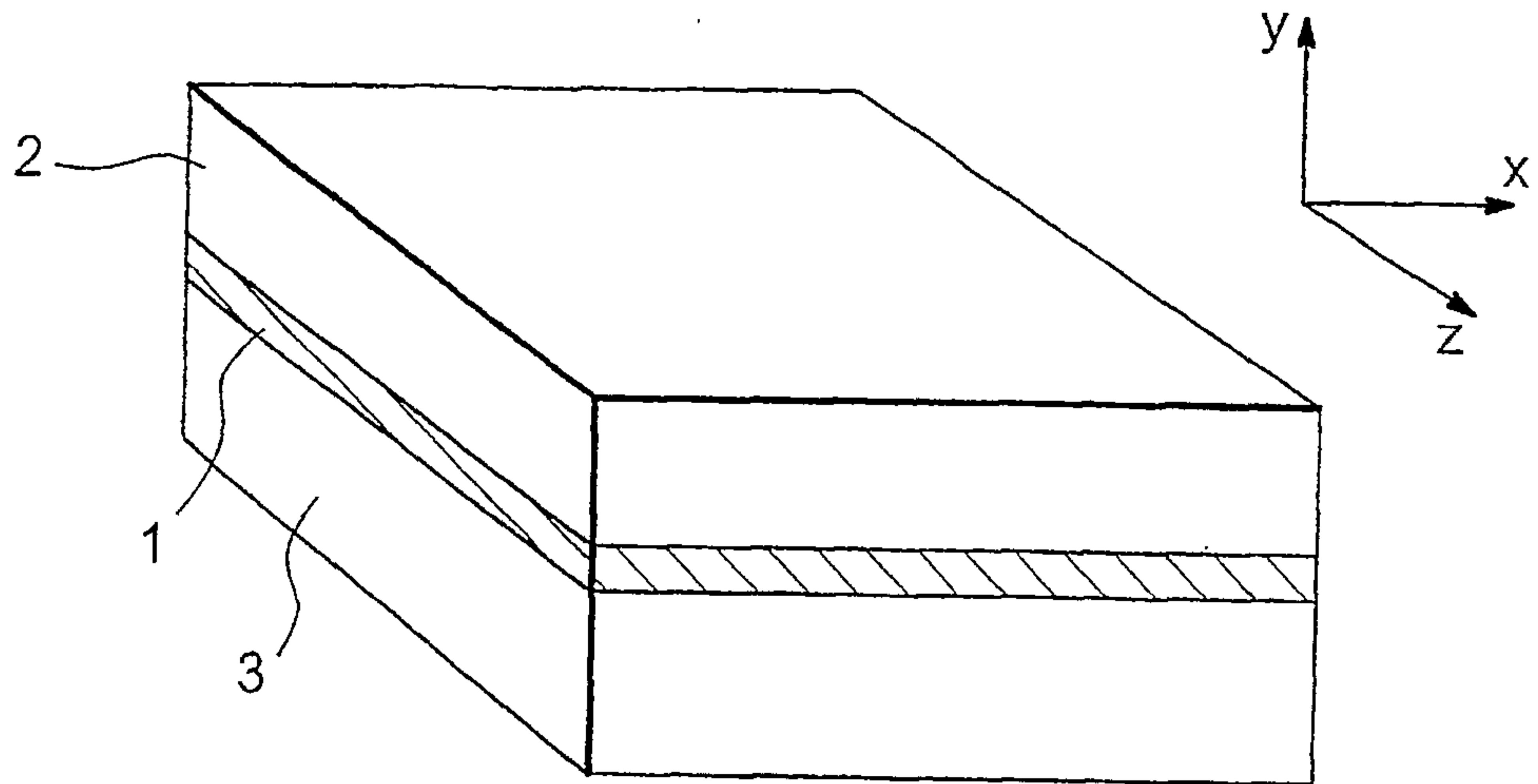


FIG. 1
(Art antérieur)

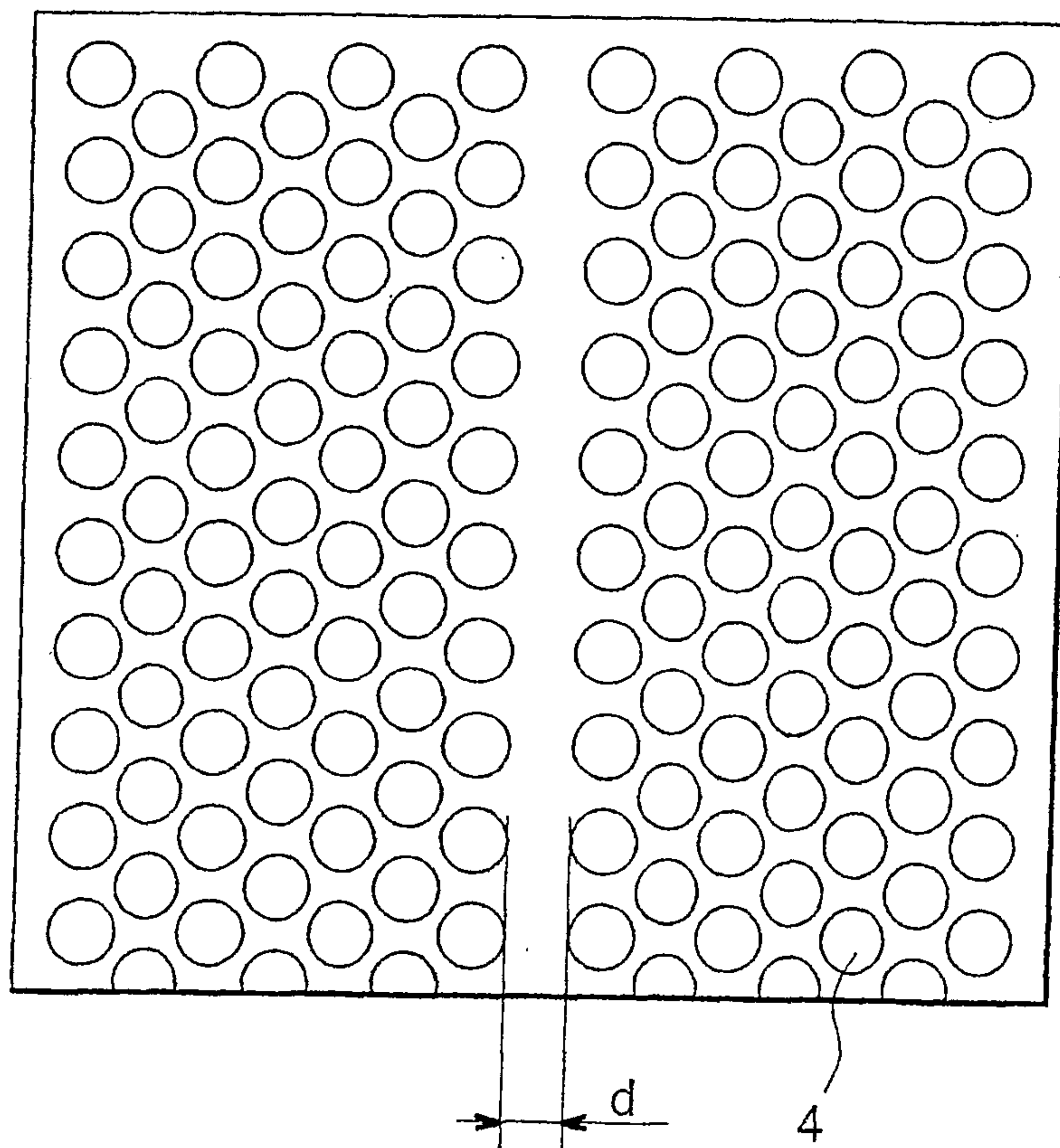
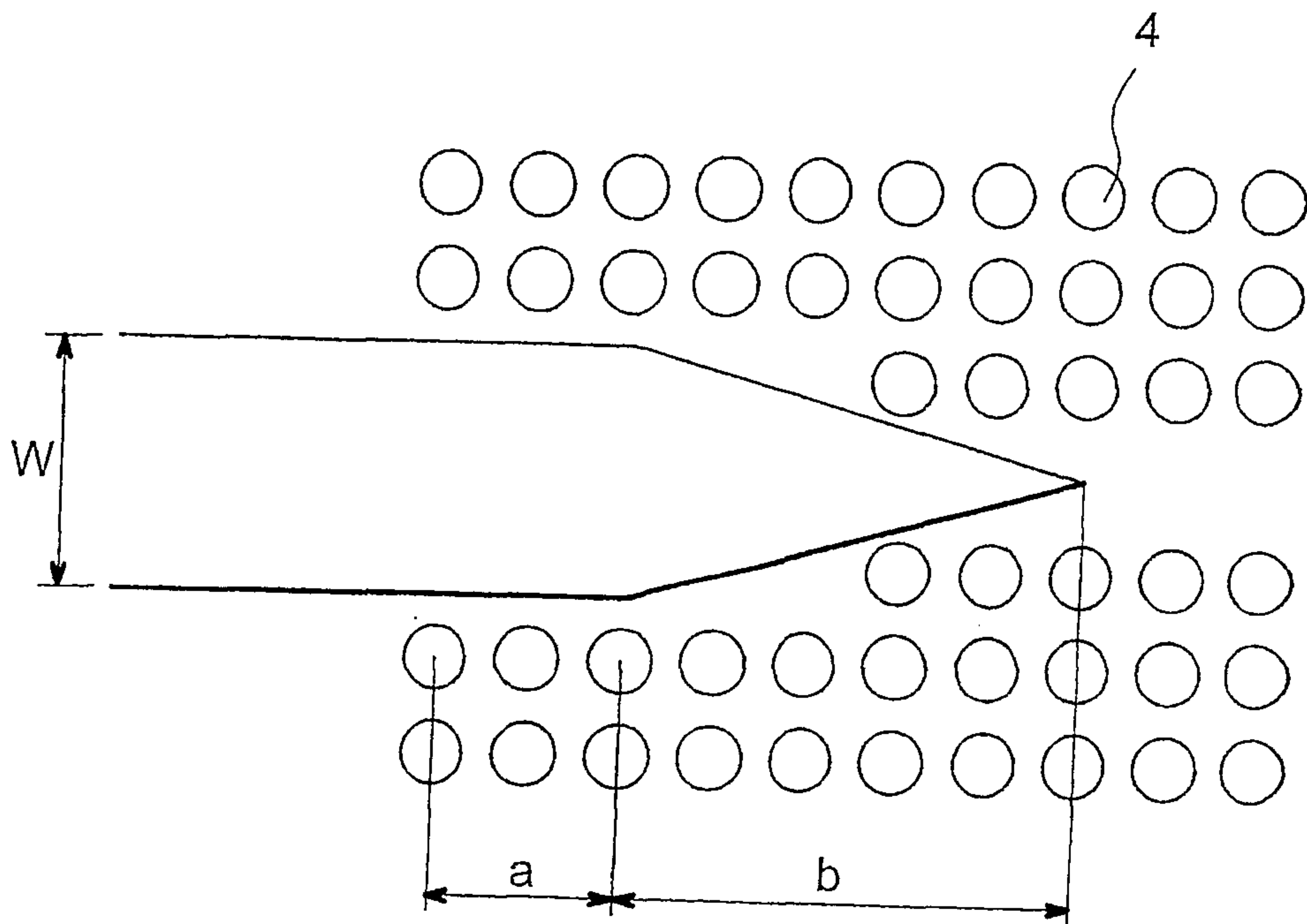
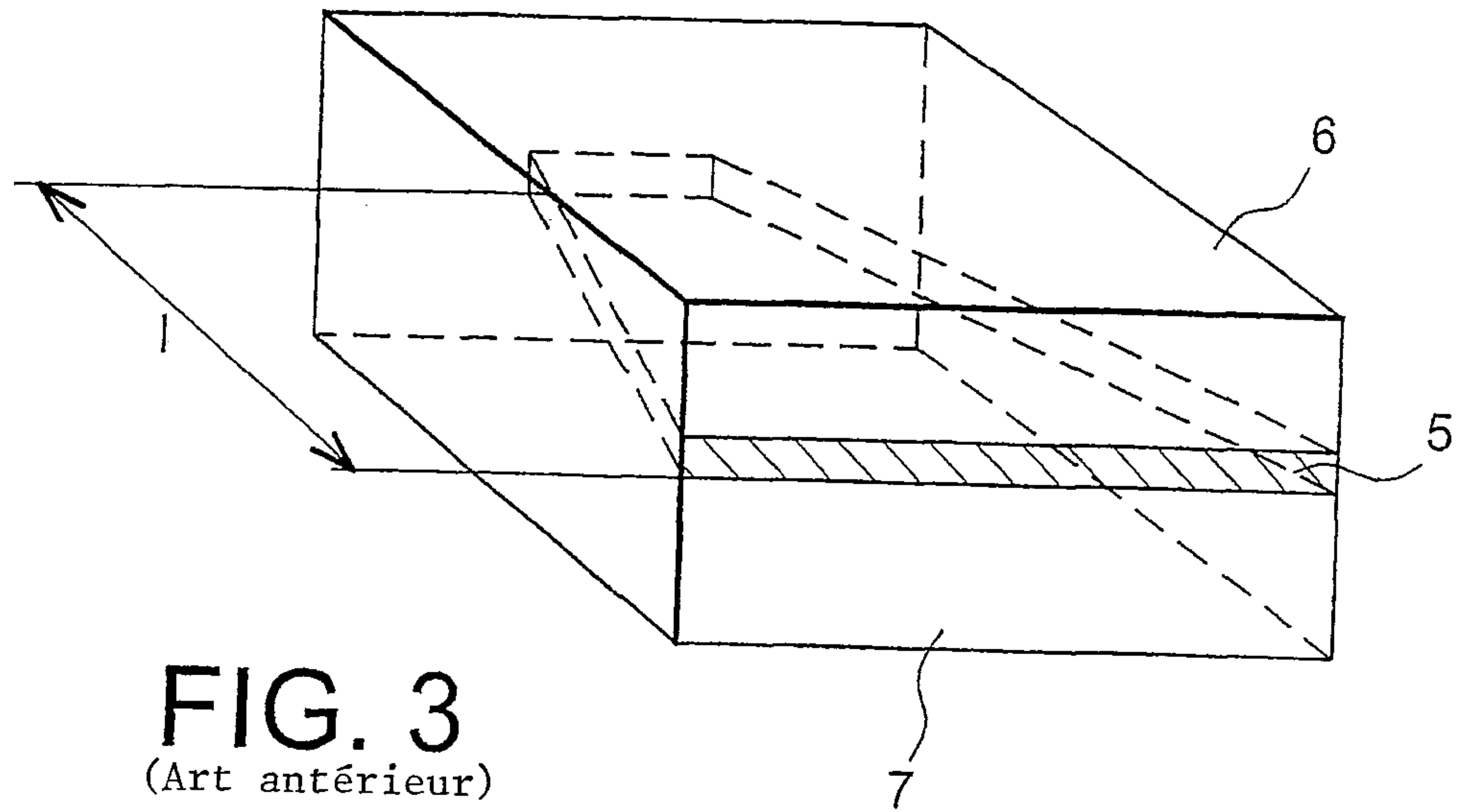


FIG. 2
(Art antérieur)



3 / 9

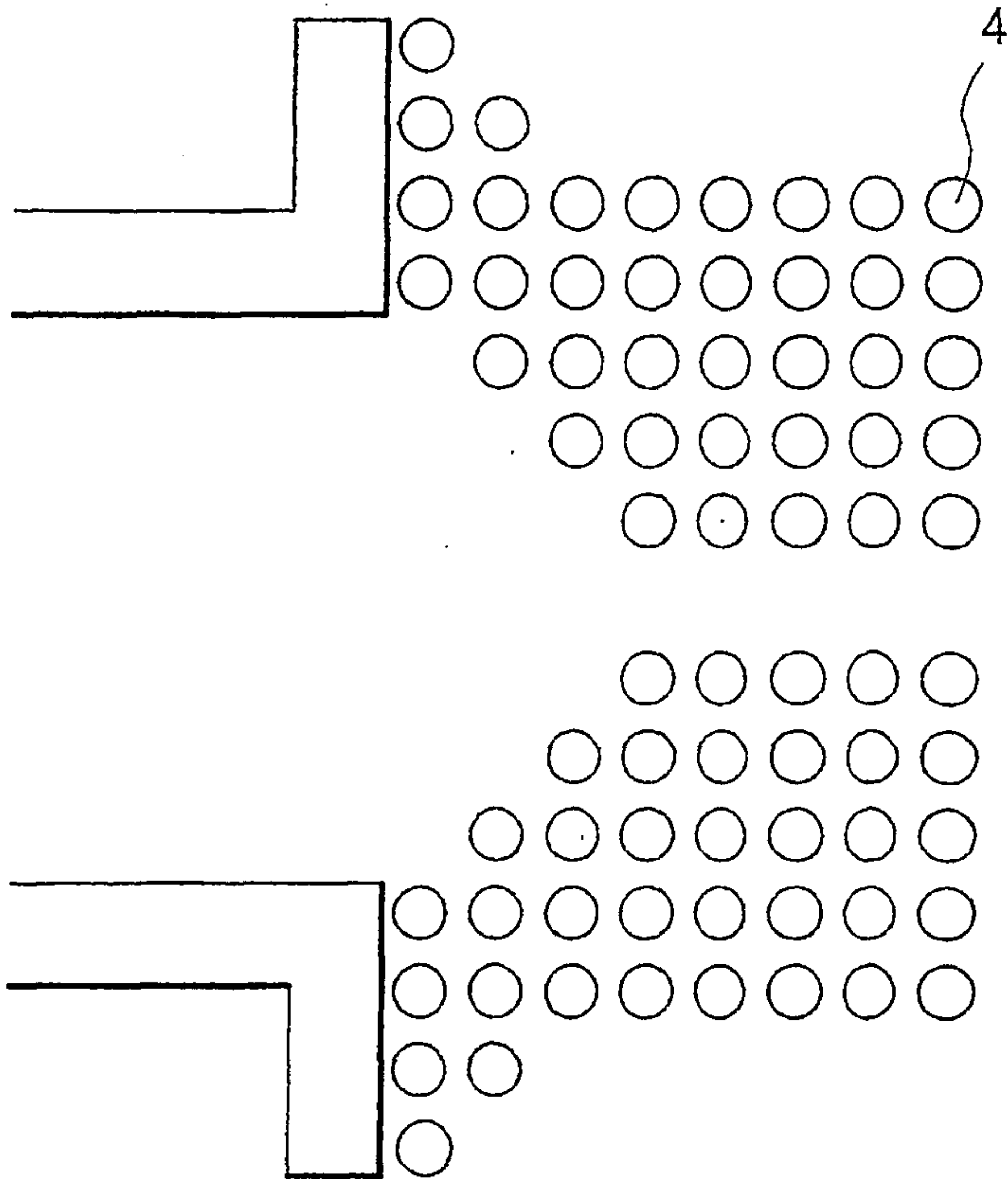


FIG. 5
(Art antérieur)

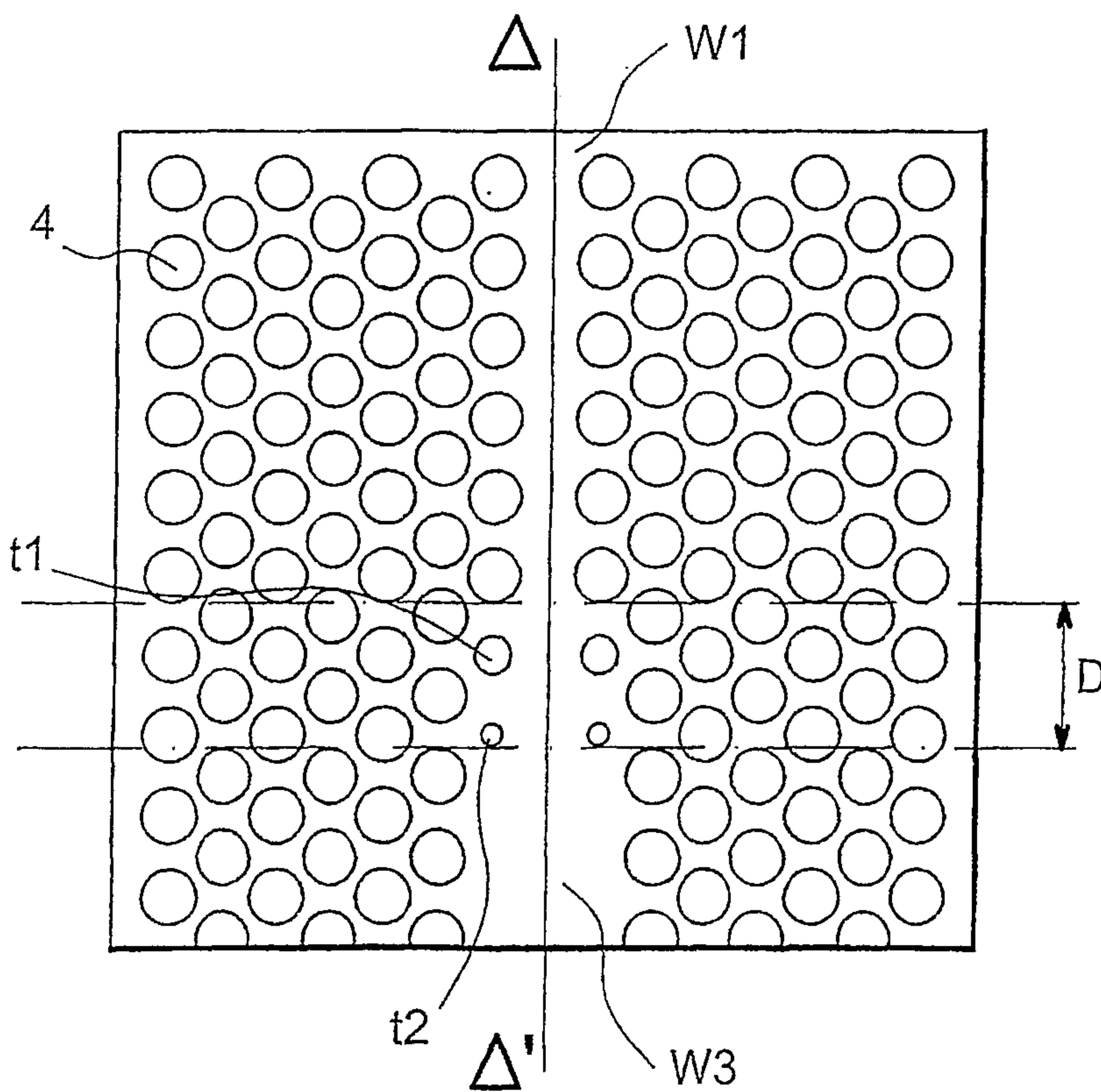


FIG. 6

5 / 9

FIG. 8B

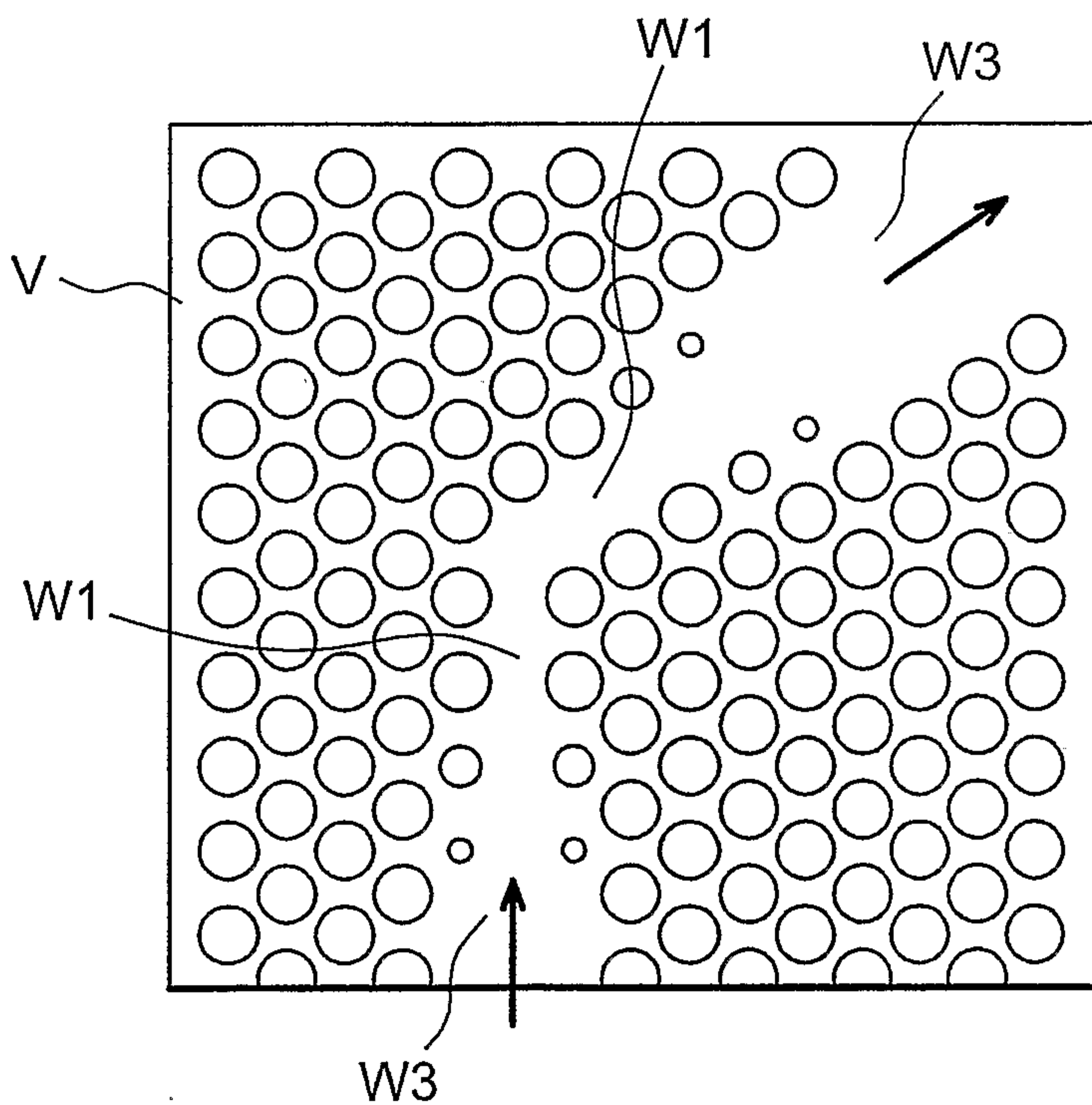
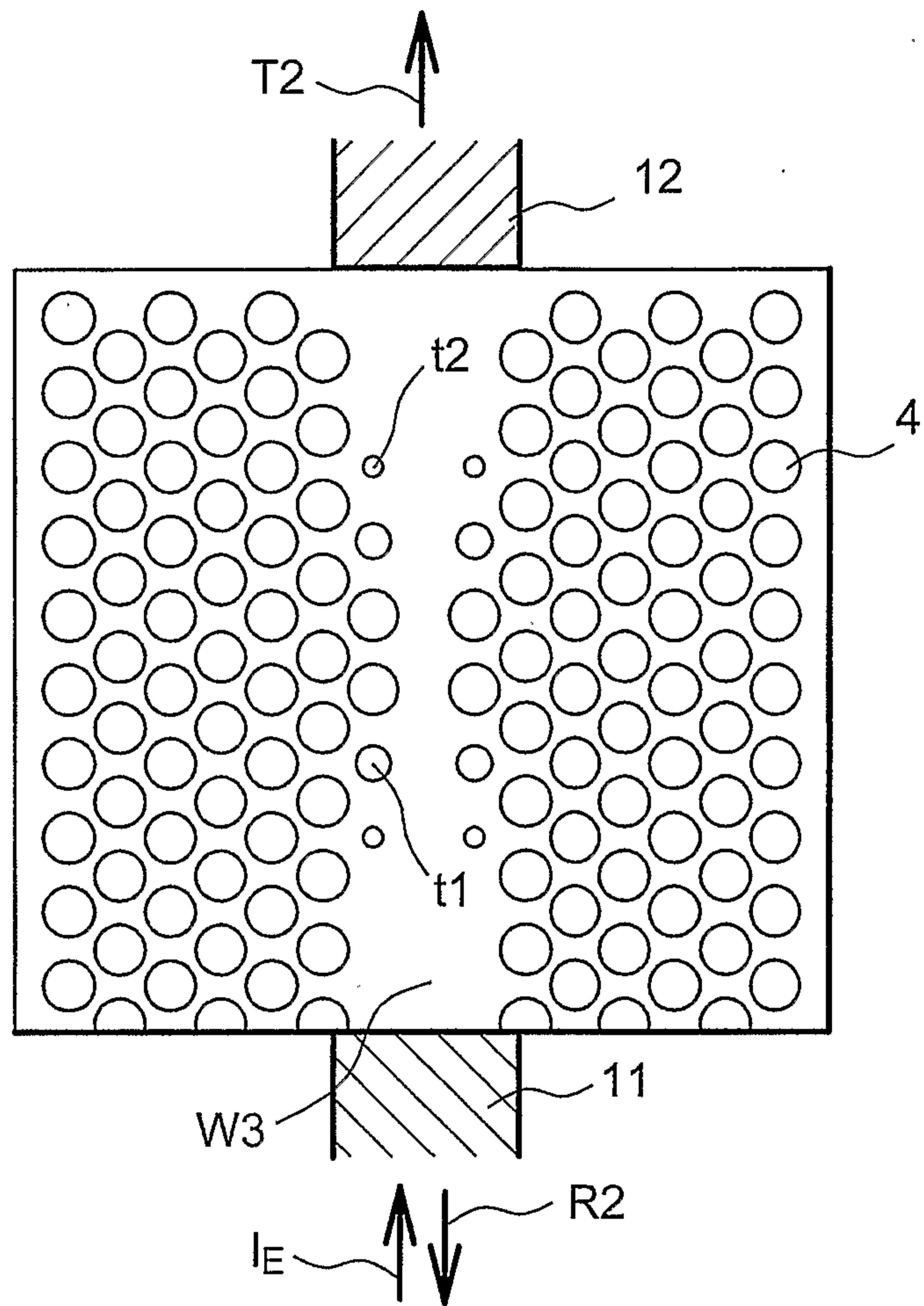


FIG. 10

6 / 9

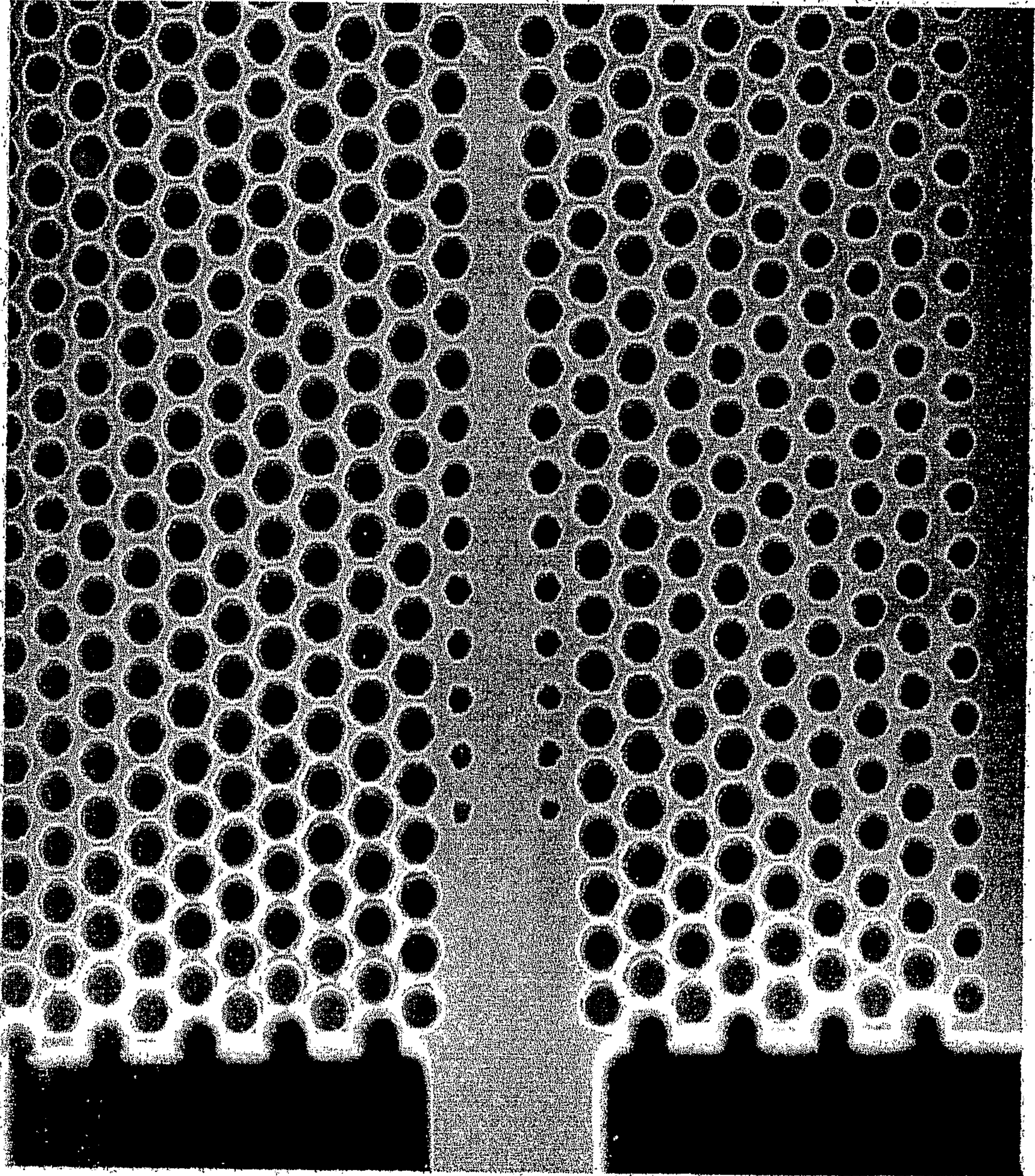


FIG. 9

7 / 9

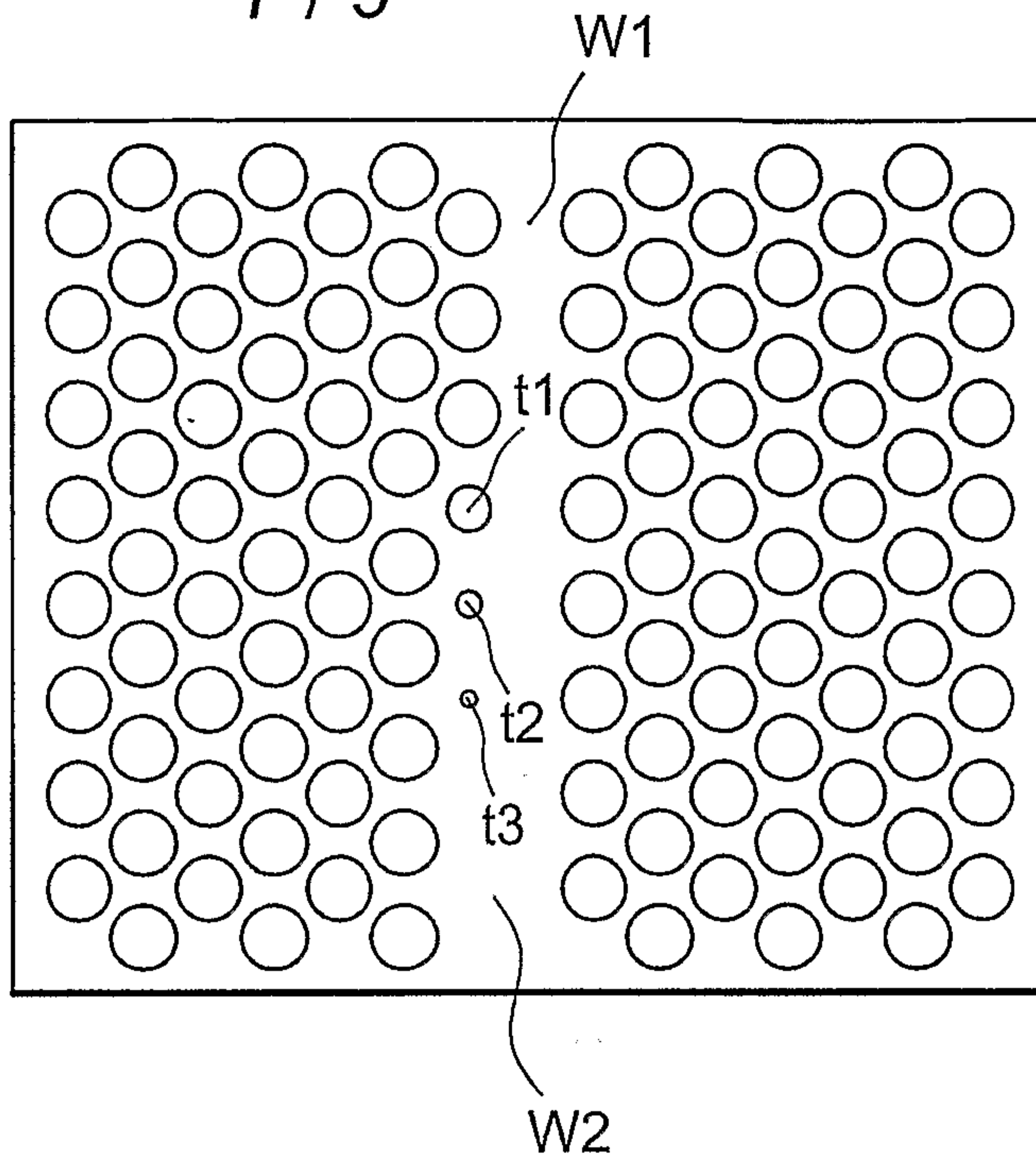


FIG. 11

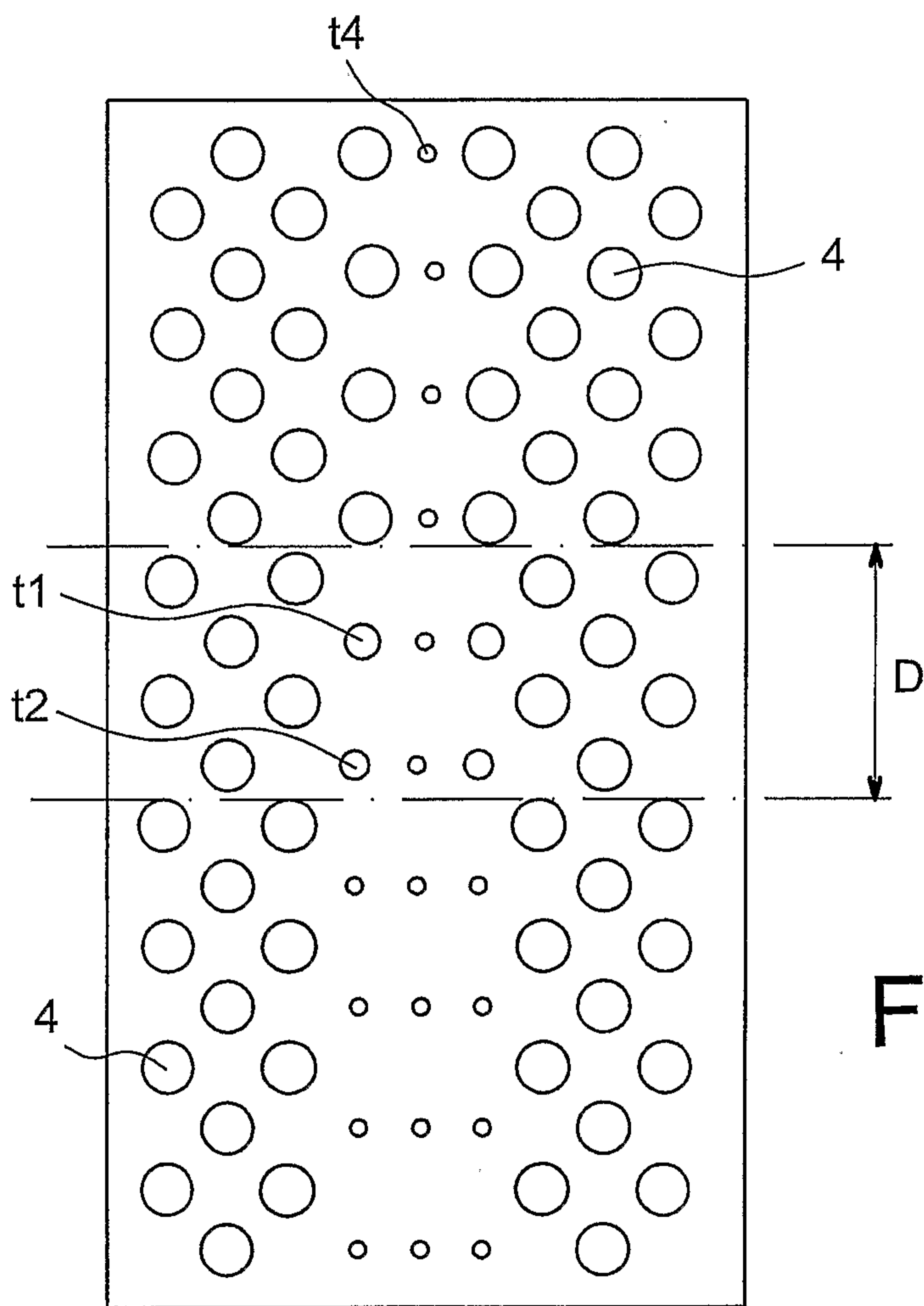


FIG. 12

8 / 9

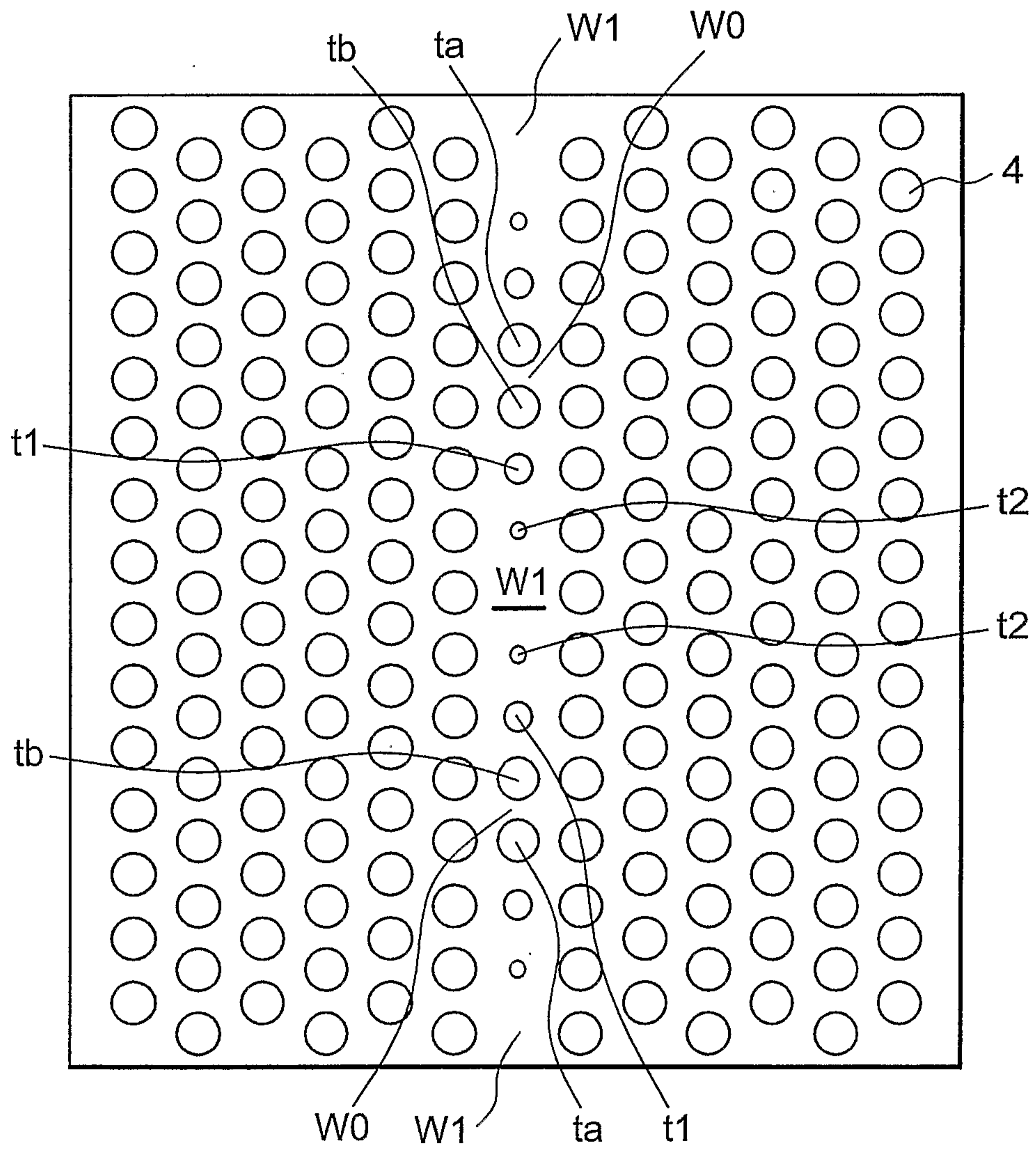


FIG. 13

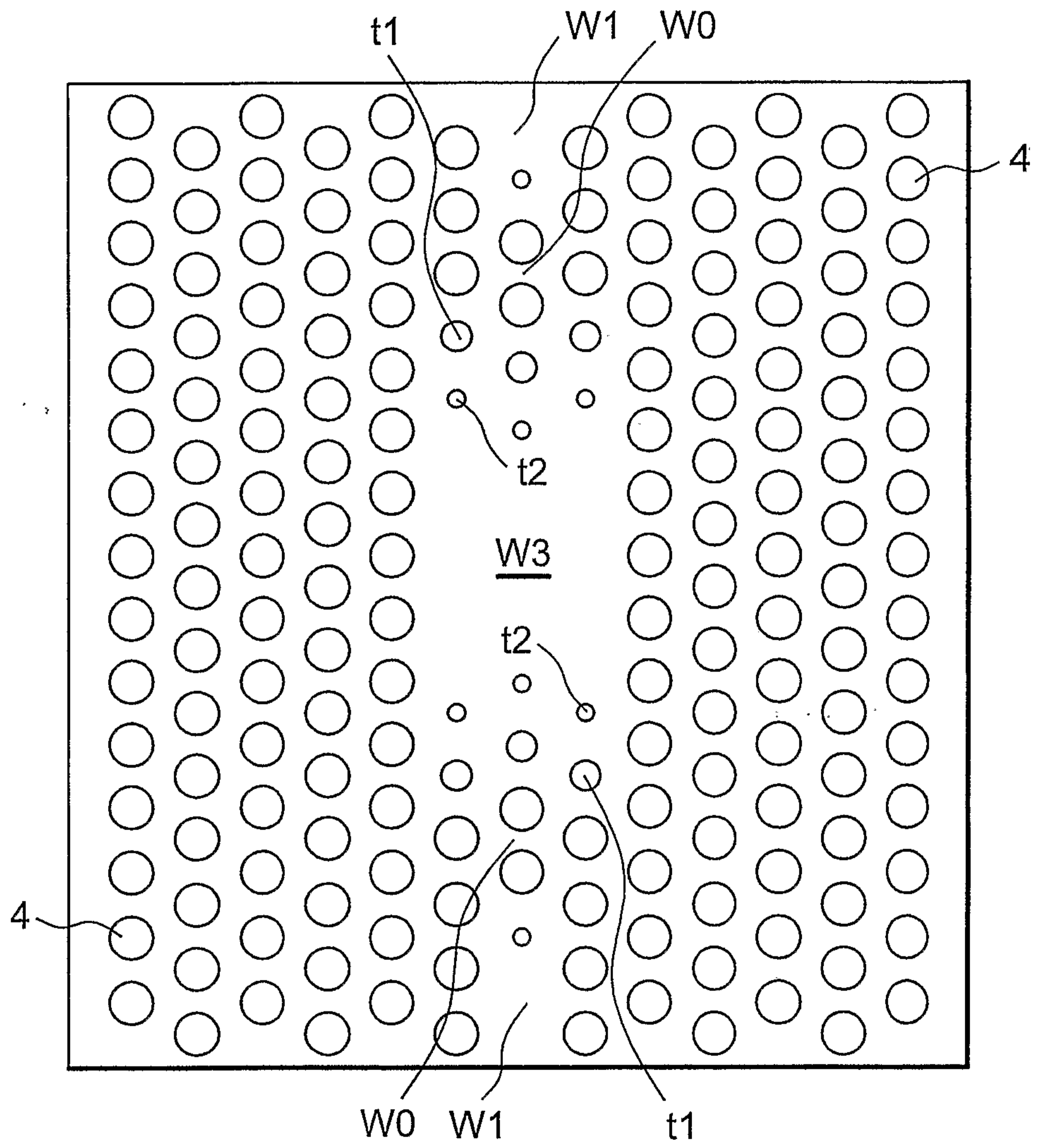


FIG. 14

