

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

PARIS

(11) N° de publication :
(A n'utiliser que pour les
commandes de reproduction).

2 476 682

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21) **N° 80 04099**

(54) Procédé et dispositif d'exposition d'un substrat à une source d'émission, notamment pour un dépôt sur le substrat par évaporation sous vide.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). C 23 C 13/00, 13/08.

(22) Date de dépôt 25 février 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande B.O.P.I. — « Listes » n° 35 du 28-8-1981.

(71) Déposant : MATRA, société anonyme, résidant en France.

(72) Invention de : Armand Peraldi, Pierre Hollier et Jacques Thebault.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Cabinet Plasseraud,
84, rue d'Amsterdam, 75009 Paris.

Procédé et dispositif d'exposition d'un substrat à une source d'émission, notamment pour un dépôt sur le substrat par évaporation sous vide.

L'invention est relative à un procédé d'exposition d'un substrat à une source d'émission, en vue de réaliser un profil d'exposition asphérique dans lequel les lignes d'égale exposition ont une forme autre que circulaire, notamment elliptique ou analogue, procédé selon lequel on effectue, à l'aide d'un masque rotatif disposé entre la source d'émission et le substrat, une occultation périodique du substrat de manière à l'isoler périodiquement de l'émission de la source.

L'invention concerne plus particulièrement un procédé pour réaliser, par évaporation sous vide, un dépôt sur le substrat.

Des procédés de ce genre sont connus, notamment par le brevet FR. N° 2 369 016 (76 32 217) déposé le 26 octobre 1976.

L'invention a pour but, surtout, de rendre le procédé tel qu'il réponde mieux que jusqu'à présent aux diverses exigences de la pratique et notamment tel qu'il permette d'améliorer sensiblement la précision avec laquelle le profil est réalisé.

Selon l'invention, un procédé d'exposition d'un substrat à une source d'émission, tel que défini précédemment, est caractérisé par le fait que :
1°/ On exprime le profil sous forme d'une équation polaire comprenant une somme de termes dans laquelle chaque terme qui dépend de l'angle polaire est un produit de deux facteurs, l'un de ces facteurs étant une constante ou ne dépendant que du rayon polaire, tandis que l'autre facteur est une fonction trigonométrique, cosinus ou sinus, du premier ordre de l'angle polaire ou d'un multiple entier de cet angle polaire ;
35 2°/ On soumet, ensuite, le substrat à une succession d'expositions et chaque exposition correspondant à un des susdits termes du développement qui dépend

de l'angle polaire est réalisée en faisant tourner un masque avec une vitesse de rotation, par rapport au substrat, modulée en fonction de l'angle du masque par rapport au substrat d'une manière inversement proportionnelle à la fonction trigonométrique du terme considéré, augmentée éventuellement d'une constante, le masque étant agencé pour déterminer un arc d'exposition, pour un point donné, tel que l'intégration de l'inverse de la vitesse de rotation modulée sur cet arc d'exposition donne un temps d'exposition qui dépend de l'angle polaire de la même façon que le terme considéré du profil.

Avantageusement, dans le cas où le profil Z peut être exprimé sous la forme :

$$Z(r, \theta) = \sum_{i=0}^n g_i(r) \cos i\theta$$

r étant le rayon polaire.

θ étant l'angle polaire.

i pouvant varier de 0 à n.

20 lors de chaque exposition correspondant à un terme de cette somme, la vitesse de rotation ω_i du masque par rapport au substrat est modulée en fonction de l'angle α du masque par rapport au substrat suivant la formule

$$\omega_i(\alpha) = \frac{\omega_0}{1 + r_i \cos i\alpha}$$

où τ_i est le taux de modulation et ω_0 la vitesse moyenne, et le susdit masque a une découpe symétrique de part et d'autre d'un rayon.

30 Dans le cas d'un profil de Schmidt elliptisé, on exprime le profil sous la forme :

$$z(r, \theta) = g_0(r) + g_2(r) \cos 2\theta + g_4(r) \cos 4\theta,$$

35 et l'on soumet le substrat à deux expositions successives correspondant aux deux termes du développement dépendant de l'angle polaire, avec modulation de la vitesse de

rotation suivant la loi indiquée précédemment, et on ajoute aux deux profils ainsi obtenu un troisième profil de révolution obtenu par une exposition avec un masque tournant à vitesse constante de manière à réaliser, notamment, le terme qui ne dépend que du rayon polaire.

En fonction de la précision souhaitée, on peut se contenter, notamment dans le cas d'une lame de Schmidt elliptisée, de superposer une exposition de révolution correspondant à un masque tournant à vitesse constante et une seule exposition avec masque à vitesse de rotation modulée correspondant au premier terme $g_2(r) \cos 2\theta$ qui dépend de l'angle polaire, la modulation étant effectuée selon la loi :

$$15 \quad \omega_2(\alpha) = \frac{\omega_0}{1 + \tau_2 \cos 2\alpha}$$

Les mouvements de rotation se font autour d'un axe commun qui est l'axe de profil final, en général confondu avec celui du substrat.

20 L'invention concerne également un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé défini précédemment.

Ce dispositif comprend une source d'émission, un support propre à porter le substrat et permettant d'exposer une face de ce substrat à la source d'émission, 25 un masque rotatif propre à assurer une occultation périodique du substrat, ce dispositif étant caractérisé par le fait qu'il comporte des moyens pour moduler la vitesse de rotation du masque par rapport au substrat en fonction de l'angle de ce masque par rapport au substrat d'une manière inversement proportionnelle à une fonction trigonométrique, cosinus ou sinus, du premier ordre du susdit angle, ou d'un multiple de l'angle, augmentée éventuellement d'une constante, le masque étant agencé pour déterminer un arc d'exposition d'un point 30 donné tel que l'intégration de l'inverse de la vitesse de rotation modulée sur l'arc d'exposition donne un temps d'exposition dépendant de l'angle polaire 35

selon une fonction trigonométrique, cosinus ou sinus, du premier ordre, de cet angle polaire ou d'un multiple.

De préférence, les moyens pour moduler la vitesse de rotation du masque sont agencés de manière 5 à assurer une loi de vitesse angulaire ω_i de la forme :

$$\omega_i(\alpha) = \frac{\omega_0}{1+\tau_i \cos i\alpha}$$

où τ_i est le taux de modulation et ω_0 la vitesse moyenne 10 et le masque présente une découpe symétrique de part et d'autre d'un rayon.

Les moyens pour moduler la vitesse de rotation du masque peuvent être mécaniques ou comprendre une commande à moteur pas-à-pas avec compteur d'impulsions 15 alimenté par un calculateur et une électronique associée.

L'invention consiste, mises à part les dispositions exposées ci-dessus, en certaines autres dispositions dont il sera plus explicitement question ci-après 20 à propos d'un mode de réalisation particulier décrit avec référence au dessin ci-annexé, mais qui n'est .. nullement limitatif .

La figure 1 de ce dessin montre schématiquement, un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

25 La figure 2 représente les courbes d'égale exposition du substrat.

La figure 3, enfin, est une vue en plan d'un masque rotatif utilisé pour la mise en oeuvre du procédé. *

30 En se reportant à la figure 1, on peut voir un dispositif 1 pour l'exposition d'un substrat 2 à une source d'émission 3.

Plus particulièrement, le dispositif 1 permet de réaliser, par évaporation sous vide d'un matériau 35 contenu dans la source d'émission 3, un dépôt 4 sur la face 2a du substrat 2 tournée vers la source 3.

Le dispositif 1 comprend une enceinte 1a, schématiquement représentée, à l'intérieur de laquelle un vide suffisant est réalisé. Le substrat 2 est monté dans un barillet 5 qui peut être mis en rotation autour d'un axe géométrique A passant par le centre de la source 3. Le barillet 5 comporte une fenêtre 6 tournée vers la source 3, de manière à permettre une exposition de la face 2a à l'émission de la source.

Un masque 7 est disposé entre la source 3 et le substrat 2. Ce masque 7 est formé, par exemple, par un disque circulaire dont le plan est orthogonal à l'axe A. Ce disque 7 est supporté, sur son bord périphérique, par une couronne 8 dentée extérieurement qui peut être mise en rotation autour de l'axe A par un pignon 9. Des moyens moteurs M sont prévus pour entraîner en rotation ce pignon 9.

Le masque 7 comporte une fenêtre constituée par une découpe F de forme appropriée. Le masque 7 est entraîné à une vitesse de rotation différente de celle du substrat 2 de telle sorte que les zones successives du substrat 2 sont occultées périodiquement par le masque 7.

Pour réaliser un profil d'exposition asphérique, c'est-à-dire un profil dans lequel les lignes d'égale exposition e (fig. 2) ont une forme autre que circulaire, notamment elliptique, on procède de la manière suivante.

Il convient de remarquer que dans le cas où on réalise un dépôt sur le substrat 2 par évaporation sous vide, les lignes d'égale exposition e correspondent à des lignes de niveau, c'est-à-dire des lignes d'égale épaisseur du dépôt 4.

On exprime le profil d'exposition sous forme d'une équation polaire telle que :

35

$$z(r, \theta) = \sum_{i=0}^n g_i(r) \cos i\theta \quad (I)$$

r étant le rayon polaire,
 θ étant l'angle polaire,
i étant un indice pouvant varier de 0 à n ,
n étant le nombre de termes considérés.

5 Il convient de noter que dans le cas d'un dépôt par évaporation sous vide, cette équation est, en quelque sorte, l'équation polaire de la surface du dépôt, z correspondant à l'épaisseur du dépôt suivant l'axe A.

10 Le profil est donc exprimé sous la forme d'une somme de termes dans laquelle chaque terme qui dépend de l'angle polaire θ est un produit de deux facteurs l'un de ces facteurs $g_i(r)$ étant une constante ou ne dépendant que du rayon polaire r , tandis que l'autre 15 facteur $\cos i\theta$ est une fonction trigonométrique (cosinus ou sinus) du premier ordre de l'angle polaire θ ou d'un multiple entier de cet angle polaire.

Le centre O des coordonnées polaires est situé sur l'axe A.

20 On soumet, ensuite, le substrat 2 à une succession d'expositions à la source 3.

Chaque exposition, correspondant à un des termes du développement qui dépend de l'angle polaire, est réalisée en faisant tourner avec des moyens M un 25 masque approprié 7 avec une vitesse de rotation ω_i modulée, en fonction de l'angle α du masque 7 par rapport au substrat 2, d'une manière inversement proportionnelle à la fonction trigonométrique du terme considéré, augmentée éventuellement d'une constante.

30 Par exemple, dans le développement en question, le terme correspondant à $i = 2$ s'exprime sous la forme :

$$g_2(r) \cos 2\theta.$$

L'exposition correspondant à ce terme sera réalisée en faisant tourner un masque 7 avec une 35 vitesse de rotation $\omega_2(\alpha)$ modulée selon la loi :

$$\omega_2(\alpha) = \frac{\omega_0}{1 + \tau_2 \cos 2\alpha}$$

ω_0 est la vitesse moyenne

et τ_2 est le taux de modulation.

Le masque 7 est agencé pour déterminer un arc d'exposition B C H (fig. 3), pour un point donné, tel que l'intégration de l'inverse $\frac{1}{\omega_2(\alpha)}$ de la vitesse de rotation modulée sur cet arc d'exposition BCH donne un temps d'exposition qui dépend de l'angle polaire θ de la même façon que le terme considéré du profil.

Avantageusement, comme représenté sur la figure 3, la découpe F du masque 7 est symétrique par rapport à un rayon OD du masque. Cette découpe F est limitée par deux arcs de courbes 9, 10, symétriques par rapport au rayon OD. Ces arcs de courbe se rejoignent en un point de rebroussement, situé sur ce rayon OD.

Dans le cas de la figure 3, le point de rebroussement est situé au centre du masque 7.

L'arc C B peut s'exprimer sous la forme $\beta_2(r)$; l'arc C H s'exprime alors sous la forme $-\beta_2(r)$.

Pour chaque tour complet effectué par le masque 7, par rapport au substrat 2, la durée d'exposition d'un point déterminé (par exemple situé au droit du point B à l'instant zéro) à la source 3 et donc, dans le cas d'un dépôt sous vide, l'épaisseur du dépôt en ce point est proportionnelle au temps mis par le masque 7 pour effectuer une rotation dont l'amplitude correspond à l'arc B C H.

Le temps élémentaire dt s'exprime sous la forme :

$$dt = \frac{d\alpha}{\omega_2(\alpha)}$$

α étant l'angle relatif entre le masque 7 et le substrat 2.

Le début de l'exposition du point déterminé, d'angle polaire θ , se produit pour $\alpha = \theta - \beta_2(r)$; la fin de l'exposition a lieu pour $\alpha = \theta + \beta_2(r)$.

Le temps d'exposition sera donc proportionnel
à :

$$\int_{\theta - \beta_2(r)}^{\theta + \beta_2(r)} \frac{d\alpha}{\omega_2(\alpha)} = \int_{\theta - \beta_2(r)}^{\theta + \beta_2(r)} (1 + \tau_2 \cos 2\alpha) d\alpha$$

- 5 I (r) étant l'indicatrice de la source, on obtient ainsi, dans le cas d'un dépôt par évaporation sous vide, l'expression de l'épaisseur du dépôt en un point de coordonnées polaires, θ :

$$10 e_2(r, \theta) = k_2 I(r) \int_{\theta - \beta_2(r)}^{\theta + \beta_2(r)} (1 + \tau_2 \cos 2\alpha) d\alpha = k_2 I(r) \left[2\beta_2(r) + \tau_2 \sin 2\beta_2(r) \cos 2\theta \right]$$

Cette expression comporte bien un terme de la forme $g_2(r) \cos 2\theta$.

Il suffit de choisir $\beta_2(r)$ de telle sorte que :

$$15 \sin 2\beta_2(r) = \frac{g_2(r)}{k_2 \tau_2 I(r)}$$

A ce terme s'ajoute un autre terme purement de révolution :

$$f_2(r) = 2 k_2 I(r) \beta_2(r).$$

- On voit ainsi que par superposition d'évaporation successives avec des masques appropriés, on réalise une couche conforme à l'équation polaire (I) de la page 5.

- 25 Le terme purement de révolution est obtenu en ajoutant à tous les profils précédents un profil de révolution permettant d'obtenir le terme souhaité.

Dans le cas d'une lame de Schmidt elliptisée, le profil de Schmidt s'exprime sous une forme générale, limitée toutefois au 4ème ordre dans l'exemple ci-après :

$$z(r, \theta) = r^2 (1 - e \cos^2 \theta) \left[a + b r^2 (1 - e \cos^2 \theta) \right]$$

- 30 Pour appliquer le procédé de l'invention,

on exprime ce profil comportant des fonctions trigonométriques du 4ème ordre ($\cos^4 \theta$), en utilisant les relations entre les lignes trigonométriques d'un angle et celles de ses multiples ; on obtient

5 alors :

$$z(r, \theta) = g_0(r) + g_2(r) \cos 2\theta + g_4(r) \cos 4\theta \quad (\text{II}).$$

Le premier terme est purement de révolution.

10 Le terme $g_2(r) \cos 2\theta$ est obtenu comme expliqué précédemment, avec modulation de la vitesse de rotation d'un masque 7 ayant la découpe appropriée.

Le troisième terme $g_4(r) \cos 4\theta$ est réalisé avec un masque semblable ayant une découpe appropriée symétrique par rapport à un rayon et dont la vitesse de rotation est modulée suivant la relation :

$$15 \quad w_4(\alpha) = \frac{\omega_0}{1 + \tau_4 \cos 4\alpha}$$

L'épaisseur de la couche ainsi déposée s'exprime par la relation :

$$e_4(r, \theta) = k_4 I(r) \left[4\beta_4(r) + \tau_4 \sin 4\beta_4(r) \cos 4\theta \right]$$

$$\text{ou } e_4(r, \theta) = f_4(r) + g_4(r) \cos 4\theta.$$

$$20 \quad \text{avec } \sin 4\beta_4(r) = \frac{g_4(r)}{k_4 \tau_4 I(r)}$$

$$\text{et } f_4(r) = 4 k_4 I(r) \beta_4(r)$$

Cette épaisseur s'ajoute à celle déposée précédemment.

Le profil de la couche correspond à l'équation :

$$e_2(r, \theta) + e_4(r, \theta) = f_2(r) + f_4(r) + g_2(r) \cos 2\theta + g_4(r) \cos 4\theta.$$

25 En ajoutant aux deux profils précédents un profil de révolution $e_0(r)$ tel que :

$$e_0(r) = g_0(r) - f_2(r) - f_4(r),$$

on obtient, in fine, le profil souhaité :

$$z(r, \theta) = g_0(r) + g_2(r) \cos 2\theta + g_4(r) \cos 4\theta \quad (\text{II})$$

10

Le profil de révolution peut être obtenu classiquement au moyen d'un masque tournant à vitesse constante, masque dont le profil est calculé pour réaliser la fonction $e_o(r)$.

5 Il est clair que l'ordre dans lequel sont effectuées les trois opérations importe peu.

10 Ce procédé permet d'atteindre avec une exactitude rigoureuse le profil souhaité correspondant à l'équation (II). Toutefois, pour certaines applications on peut estimer suffisante la précision obtenue avec deux évaporations, l'une correspondant au profil de révolution $g_o(r)$ et la seconde correspondant au terme en $\cos 2\theta$: $g_2(r) \cos 2\theta$. L'erreur commise en négligeant le terme en $\cos 4\theta$ est très faible.

15 Le procédé de l'invention s'applique pour réaliser un profil de Schmidt non limité au quatrième ordre.

Un tel profil peut s'exprimer sous la forme générale :

$$20 z(r, \theta) = \sum_{i=1}^n a_i r^{2i} (1 - e \cos^2 \theta)^i$$

ou encore :

$$z(r, \theta) = \sum_{i=1}^n a_i r^{2i} \left(\sum_{j=0}^i b_j \cos^{2j} \theta \right)$$

Comme $\cos^{2j} \theta$ peut se mettre sous la forme :

$$\cos^{2j} \theta = c_o + \sum_{k=1}^{k=j} c_k \cos 2k\theta,$$

25 on peut finalement mettre le profil sous la forme :

$$z(r, \theta) = g_o(r) + \sum_{i=1}^m g_i(r) \cos 2i\theta.$$

Un tel profil peut être obtenu par une suite de $m+1$ évaporations dont m avec des masques symétriques, déterminant des arcs d'exposition $\pm \beta_i(r)$, à vitesses modulées de la forme $w_i(\alpha) = \frac{\omega_0}{1 + \tau_i \cos 2i\alpha}$ et une évaporation de révolution avec un masque tournant à vitesse

constante classique.

En pratique, le cas d'un correcteur de Schmidt se limite presque toujours à $m = 3$ et, le plus fréquemment à $m = 2$, qui correspond au cas étudié en 5 détail précédemment.

Le nombre d'évaporations se réduit ainsi à $m + 1 = 4$ et plus probablement à 3, compte tenu des approximations en général possibles, et même à 2 évaporations comme envisagé précédemment.

10 On peut prévoir une rotation relative entre la source 3 et le substrat 2 afin de minimiser les défauts de symétrie d'émission de la source.

15 Les moyens M pour entraîner le masque 7 avec une vitesse de rotation modulée suivant les lois indiquées précédemment peuvent être mécaniques et comprendre un dispositif à différentiel, permettant d'obtenir des vitesses angulaires multiples d'une vitesse de base, combiné avec une came qui permet d'introduire la modulation de vitesse.

20 Cependant, les moyens M peuvent être réalisés sous une autre forme.

25 Par exemple, on peut prévoir une commande à moteur pas-à-pas avec compteur d'impulsions alimenté par un calculateur et une électronique associée. Il s'agit là d'un mode de réalisation pratique et préférable.

30 Une autre solution consisterait à employer un dispositif électro-mécanique permettant des déplacements suivant deux axes orthogonaux et des mouvements de rotations associés.

35 Le procédé et le dispositif d'asphérisation selon l'invention permettent d'obtenir avec une bonne précision des profils asphériques à lignes de niveau elliptiques.

La précision avec laquelle le profil est réalisé peut atteindre, comme ordre de grandeur, $\frac{\lambda}{50}$ c'est-à-dire environ $0,012 \mu$ pour une longueur d'onde de 0,6 microns.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'exposition d'un substrat à une source d'émission, en vue de réaliser un profil d'exposition asphérique dans lequel les lignes d'égal exposition ont une forme autre que circulaire, notamment elliptique ou analogue, procédé selon lequel on effectue, à l'aide d'un masque rotatif disposé entre la source d'émission et le substrat, une occultation périodique du substrat de manière à l'isoler périodiquement de l'émission de la source, caractérisé par le fait que 1°/ on exprime le profil sous forme d'une équation polaire comprenant une somme de termes dans laquelle chaque terme qui dépend de l'angle polaire est un produit de deux facteurs, l'un de ces facteurs étant une constante ou ne dépendant que du rayon polaire, tandis que l'autre facteur est une fonction trigonométrique, cosinus ou sinus, du premier ordre de l'angle polaire ou d'un multiple entier de cet angle polaire ; 2°/ on soumet, ensuite, le substrat à une succession d'expositions et chaque exposition correspondant à un des susdits termes du développement qui dépend de l'angle polaire est réalisée en faisant tourner un masque avec une vitesse de rotation, par rapport au substrat, modulée en fonction de l'angle du masque par rapport au substrat d'une manière inversement proportionnelle à la fonction trigonométrique du terme considéré, augmentée éventuellement d'une constante, le masque étant agencé pour déterminer un arc d'exposition, pour un point donné, tel que l'intégration de l'inverse de la vitesse de rotation modulée sur cet arc d'exposition donne un temps d'exposition qui dépend de l'angle polaire de la même façon que le terme considéré du profil.

2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le profil peut être exprimé sous la forme :

$$z(r, \theta) = \sum_{i=0}^n g_i(r) \cos i\theta$$

r étant le rayon polaire,

θ étant l'angle polaire,

i pouvant varier de 0 à n,

- 5 caractérisé par le fait que lors de chaque exposition correspondant à un terme de cette somme, la vitesse de rotation ω_i du masque par rapport au substrat est modulée en fonction de l'angle α du masque par rapport au substrat suivant la formule :

$$10 \quad \omega_i(\alpha) = \frac{\omega_0}{1 + \tau_i \cos \alpha}$$

où τ_i est le taux de modulation et ω_0 la vitesse moyenne, et le susdit masque a une découpe symétrique de part et d'autre d'un rayon.

- 15 3. Procédé selon la revendication 1 ou 2 pour réaliser un profil de Schmidt elliptisé, caractérisé par le fait que l'on exprime le profil sous la forme :

$$z(r, \theta) = g_0(r) + g_2(r) \cos 2\theta + g_4(r) \cos 4\theta ,$$

- et l'on soumet le substrat à deux expositions successives
20 correspondant aux deux termes du développement dépendant de l'angle polaire, avec modulation de la vitesse de rotation suivant la loi indiquée précédemment, et on ajoute aux deux profils ainsi obtenus un troisième profil de révolution obtenu par une exposition avec
25 un masque tournant à vitesse constante de manière à réaliser, notamment, le terme qui ne dépend que du rayon polaire.

4. Procédé selon la revendication 1 ou 2, pour réaliser un profil de Schmidt elliptisé, caractérisé par le fait que l'on exprime le profil sous la forme
30 $z(r, \theta) = g_0(r) + g_2(r) \cos 2\theta + g_4(r) \cos 4\theta ,$

et que l'on superpose une exposition de révolution correspondant à un masque tournant à vitesse constante et une seule exposition avec masque à vitesse de rotation modulée correspondant au premier terme $g_2(r) \cos 2\theta$

qui dépend de l'angle polaire, la modulation étant effectuée selon la loi :

$$\omega_2(\alpha) = \frac{\omega_0}{1+\tau_2 \cos 2\alpha} .$$

5 5. Dispositif, pour la mise en oeuvre d'un procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, comprenant une source d'émission, un support propre à porter le substrat et permettant d'exposer une face de ce substrat à la source d'émission, un masque rotatif propre à assurer une occultation périodique du substrat, caractérisé par le fait qu'il comporte des moyens (M) pour moduler la vitesse de rotation du masque (7) par rapport au substrat (2), en fonction de l'angle (α) de ce masque par rapport au substrat, d'une manière inversement proportionnelle à une fonction trigonométrique, cosinus ou sinus, du premier ordre du susdit angle, ou d'un multiple de l'angle, augmentée éventuellement d'une constante, le masque étant agencé pour déterminer un arc d'exposition d'un point donné tel que l'intégration de l'inverse de la vitesse de rotation modulée sur l'arc d'exposition donne un temps d'exposition dépendant de l'angle polaire selon une fonction trigonométrique, cosinus ou sinus, du premier ordre, de cet angle polaire ou d'un multiple.

10 15 20 25

6. Dispositif selon la revendication 5, caractérisé par le fait que les moyens (M) pour moduler la vitesse de rotation du masque sont agencés de manière à assurer une loi de vitesse angulaire ω_i de la forme :

$$\omega_i(\alpha) = \frac{\omega_0}{1+\tau_i \cos i\alpha}$$

30 où τ_i est le taux de modulation et ω_0 la vitesse moyenne et le masque (7) présente une découpe (F) symétrique de part et d'autre d'un rayon.

7. Dispositif selon la revendication 6, caractérisé par le fait que les moyens pour moduler la vitesse de rotation du masque comprennent une commande à moteur pas-à-pas avec compteur d'impulsion alimenté par un 5 calculateur et une électronique associée.

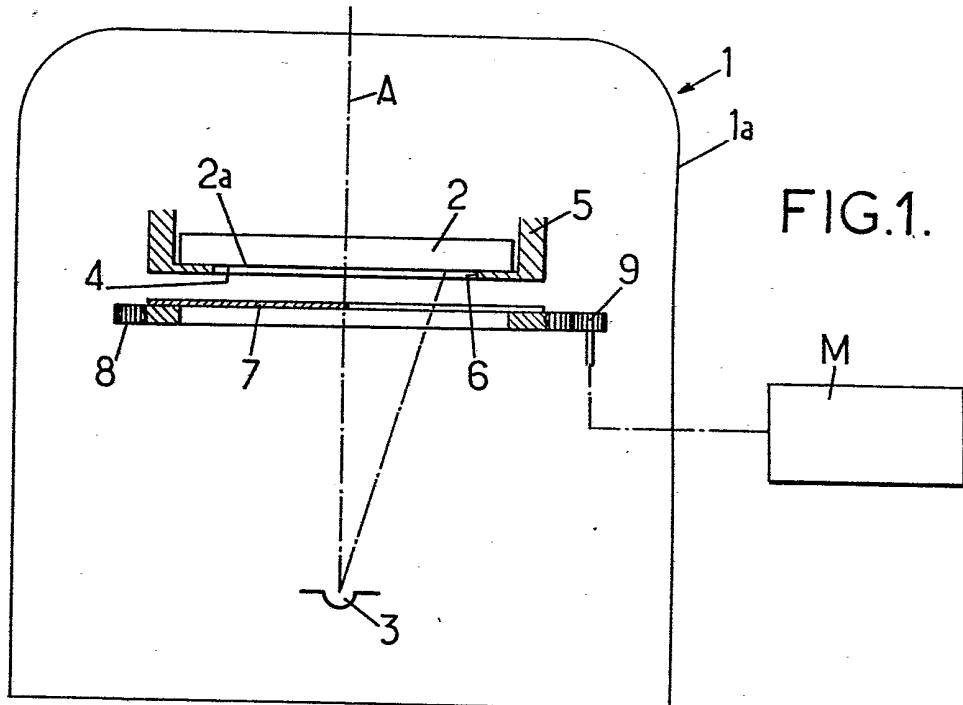
PLANCHE UNIQUE

FIG.3.

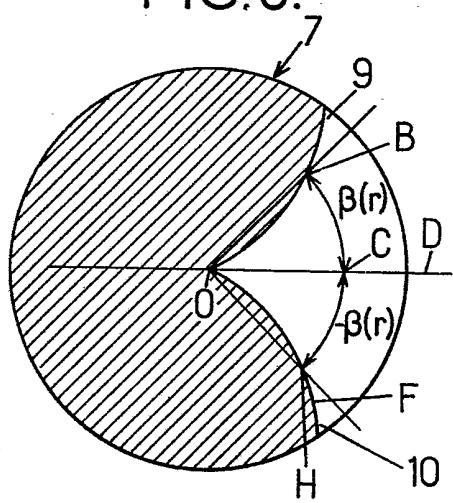


FIG.2.

