(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

COURBEVOIE

(11) **N° de publication :** ***3 127 761***

(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

(21) **N° d'enregistrement national :** **21 10515**

(51) Int Cl[8] : ***C 23 C 14/54*** *(2022.01)*

(12) DEMANDE DE BREVET D'INVENTION A1

(22) **Date de dépôt :** 05.10.21.

(30) **Priorité :**

(43) **Date de mise à la disposition du public de la demande :** 07.04.23 Bulletin 23/14.

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

(60) **Références à d'autres documents nationaux apparentés :**

( ) **Demande(s) d'extension :**

(71) **Demandeur(s) :** *SAFRAN ELECTRONICS & DEFENSE Société par actions simplifiée (SAS)* — FR.

(72) **Inventeur(s) :** Dupeyrat Cyril, PARAILLOUS Maxime et FLEURY Joël.

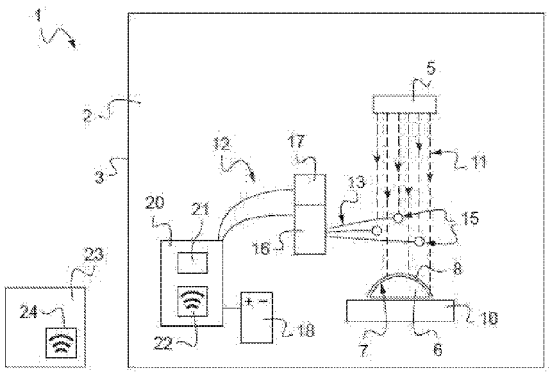
(73) **Titulaire(s) :** SAFRAN ELECTRONICS & DEFENSE Société par actions simplifiée (SAS).

(74) **Mandataire(s) :** Casalonga.

(54) Module de contrôle des gradients de caractéristiques physiques d'un dépôt de couche mince par un ensemble de caches automatisés.

(57) Ce module de contrôle (12) pour machine de dépôt de couche mince (8), comprend un ensemble de caches (15) soutenu par une structure mécanique (13) et positionné sur le trajet d'un flux de vapeur (11) de manière à en diminuer localement le flux, un ensemble de moteurs (16) actionnant la structure mécanique (13) et l'ensemble de caches (15), un ensemble de capteurs (17), une batterie d'alimentation (18) du module de contrôle (12), et une carte mère (20) comprenant un programme de pilotage de l'ensemble de moteurs (16) et de l'ensemble de capteurs (17) à partir de données reçues d'un appareil distant (23) pourvu d'un dispositif émetteur/récepteur radio (24) de communication avec une carte radiofréquence (22) de la carte mère (20).

Figure pour l'abrégé : Fig 1



FR 3 127 761 - A1

Description

Titre de l'invention : Module de contrôle des gradients de caractéristiques physiques d'un dépôt de couche mince par un ensemble de caches automatisés

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne le domaine de la mécatronique appliquée au dépôt de couches minces sur un substrat, par exemple un élément optique.

[0002] La présente invention concerne plus particulièrement un procédé de dépôt multicouches par une méthode PVD (Physical Vapor Deposition) comme par exemple l'évaporation par canon à électrons.

Techniques antérieures

[0003] Les traitements optiques multicouches sont des traitements appliqués sur des surfaces par des procédés d'empilement de couches minces.

[0004] Un procédé connu est l'évaporation par canon à électrons ou encore la pulvérisation cathodique. Dans ce cadre, une cathode, par exemple un matériau métallique, est placée dans une enceinte sous vide comprenant également un substrat. Une différence de potentiel électrique est appliquée entre la cathode et les parois de l'enceinte, créant un plasma dans l'enceinte. Le plasma comprend des particules chargées positivement qui sont attirées par la cathode et entrent en collision avec les atomes de la cathode. Les atomes se détachent de la cathode sous la forme d'un flux de vapeur et viennent se condenser sur la surface du substrat à traiter de manière à former une couche mince uniforme.

[0005] Les performances optiques de ces couches minces dépendent en partie du matériau utilisé, de son épaisseur et de sa densité qui joue grandement sur son comportement optique.

[0006] De plus, une couche mince uniforme permet de garantir la robustesse chimique et mécanique au substrat.

[0007] Cependant, un dépôt parfaitement uniforme sur un substrat à forte courbure est complexe à obtenir, compte tenu de la géométrie du substrat. En outre, certaines applications requièrent une exaltation de certaines propriétés (épaisseur, indice optique…) des couches déposées à certains points du substrat plutôt qu'à d'autres. Il en résulte un besoin de maîtrise du gradient de caractéristiques physiques d'une couche mince en différent points du substrat.

[0008] Aucune solution ne permet actuellement de contrôler le gradient de caractéristiques physiques comme des propriétés morphologiques (par exemple l'épaisseur) dans l'environnement d'un réacteur de dépôt sous vide, en tenant compte des contraintes de

pression, de température et également des contraintes mécaniques ou de connectiques imposées par les mouvements possibles du substrat avec et dans son support, par exemple un carrousel.

Exposé de l'invention

[0009] La présente invention a donc pour but de pallier les inconvénients précités et d'assurer la maîtrise du gradient de caractéristiques physiques, telles des propriétés morphologiques (par exemple l'épaisseur) et des propriétés optiques d'une couche mince lors de son dépôt sur un substrat.

[0010] La présente invention a pour objet un module de contrôle de gradients, notamment optiques, d'un ou plusieurs substrats à traiter dans une enceinte sous vide de dépôt de couche mince, par exemple par pulvérisation cathodique, l'enceinte comprenant une source, par exemple une cathode, destinée à libérer un flux de vapeur en direction du substrat, le module de contrôle comprenant une structure mécanique destinée à être placée entre le substrat et la source, un ensemble de caches soutenu par la structure mécanique et positionné sur le trajet du flux de vapeur de manière à en diminuer localement le flux, un ensemble de moteurs actionnant la structure mécanique et l'ensemble de caches, un ensemble de capteurs, une batterie d'alimentation du module de contrôle, et une carte mère électronique comportant une carte radiofréquence d'émission/réception et un microcontrôleur comprenant un programme de pilotage de l'ensemble de moteurs et de l'ensemble de capteurs à partir de données reçues d'un appareil distant.

[0011] Ainsi, l'ensemble de caches est motorisé et permet d'occulter une partie du flux de vapeur en direction du substrat de manière à rendre le dépôt parfaitement uniforme en épaisseur ou au contraire parfaitement non-uniforme selon un gradient, en particulier d'un gradient d'une caractéristique physique, défini au préalable. Dans le cadre d'un dépôt assisté par canon à ions (IBAD pour Ion Beam Assisted Deposition) comme par exemple dans le cadre de dépôts par canon à électron (EB-PVD pour Electron Beam Physical Vapor Deposition) ou dépôt par pulvérisation par faisceau d'ions (IBS pour Ion Beam Sputtering), l'ensemble de caches est motorisé et permet d'occulter une partie des ions issus du canon d'assistance de manière à rendre le dépôt parfaitement uniforme en densité et/ou en stœchiométrie (et donc en indices optiques).

[0012] De plus, la batterie d'alimentation permet de rendre le module de contrôle autonome et mieux adapté à son intégration au sein d'une machine de dépôt comprenant un support de substrat tournant.

[0013] Avantageusement, l'ensemble de moteurs comprend des servomoteurs et/ou des moteurs pas à pas, l'ensemble de moteurs fonctionnant en électronique basse tension.

[0014] Avantageusement, l'ensemble de caches comprend des caches de dispersion et/ou des

écrans destinés à se déplacer en translation et en rotation au moyen de l'ensemble de moteurs au travers du flux de vapeur de manière à faire varier des caractéristiques physiques, notamment l'épaisseur et la densité, du dépôt de couche mince sur le substrat en obstruant localement une fraction du flux de vapeur.

[0015] Avantageusement, l'ensemble de caches comprend une grille de collimation destinée à se déplacer en translation et en rotation à l'aide de l'ensemble de moteurs et destinée à ne laisser passer qu'une fraction configurable du flux de vapeur.

[0016] Dans un mode de réalisation, la fraction configurable comprend l'ensemble des particules du flux de vapeur ayant un angle d'incidence prédéterminé.

[0017] Avantageusement, l'ensemble de capteurs comprend des capteurs de température de l'enceinte et/ou des capteurs de déplacement de l'ensemble de caches, l'ensemble de capteurs étant relié à la carte mère, le programme de pilotage de l'ensemble de moteurs et de l'ensemble de capteurs étant pourvu d'un module de gestion de température adapté pour transmettre des données de température audit appareil distant pourvu d'un programme de supervision du fonctionnement du module de contrôle.

[0018] L'invention a également pour objet une machine de dépôt sous vide comprenant une enceinte à vide et des moyens de dépôt de couches minces sur substrat dans l'enceinte à vide, par exemple dépôt par pulvérisation cathodique, la machine comprenant au moins un module de contrôle tel que défini précédemment disposé dans l'enceinte, et un appareil distant apte à communiquer avec le module de contrôle et pourvu d'un programme de supervision du fonctionnement du module de contrôle pour piloter les mouvements du module de contrôle et d'un support de substrats.

[0019] Avantageusement, l'appareil distant comprend un ordinateur ou un calculateur industriel pourvu d'une interface homme-machine adaptée pour la programmation des conditions de dépôt des multicouches et interfacé avec le module de contrôle au moyen de la liaison radio pour piloter à distance le module de contrôle disposé dans l'enceinte.

Brève description des dessins

[0020] D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description suivante, donnée uniquement à titre d'exemple non limitatif, et faite en référence au dessin annexé sur lequel :

[0021] [Fig.1] illustre schématiquement une machine de dépôt de couche mince comprenant un module de contrôle selon l'invention.

Exposé détaillé d'au moins un mode de réalisation

[0022] On a représenté schématiquement sur la [Fig.1] une machine de dépôt 1 de couches minces.

[0023] La machine de dépôt 1 comprend une enceinte 2 étanche délimitée par une paroi 3 et

destinée à contenir une atmosphère sous vide.

[0024] La machine de dépôt 1 est par exemple une machine à pulvérisation cathodique et comprend une source 5, par exemple une cathode 5 métallique positionnée dans l'enceinte 2. Elle comprend en outre un substrat 6 comprenant une surface à traiter 7 avec un traitement multicouches. En particulier, le substrat 6 est destiné à accueillir une couche mince 8 optique.

[0025] La surface à traiter 7 du substrat 6 est par exemple plane ou courbée.

[0026] La machine de dépôt 1 comprend en outre un support 10 pour le substrat 6. Le support 10 est positionné dans l'enceinte 2 et est motorisé sur plusieurs axes de manière à entrer en rotation ou suivre des mouvements de translation.

[0027] La machine de dépôt 1 est destinée à appliquer une différence de potentiel électrique entre la cathode 5 et la paroi 3 de l'enceinte 2, créant un plasma dans l'enceinte 2. Le plasma comprend des particules chargées positivement qui sont attirées par la cathode 5 et entrent en collision avec les atomes de la cathode 5 qui se détachent de la cathode 5 sous la forme d'un flux de vapeur 11 et viennent se condenser sur la surface à traiter 7 du substrat 6 de manière à former une couche mince 8.

[0028] La machine de dépôt 1 comprend également un module de contrôle 12 disposé dans l'enceinte 2. Le module de contrôle 12 peut s'insérer dans n'importe quelle machine de dépôt 1 existante. De plus, plusieurs modules de contrôle 12 peuvent être utilisés dans une machine de dépôt 1.

[0029] Le module de contrôle 12 permet de contrôler les gradients, notamment optiques, d'un substrat 6 traité par un traitement monocouche ou multicouches. En particulier, le module de contrôle 12 permet de contrôler l'épaisseur locale de la couche mince 8 lors de son dépôt sur le substrat 6. Le module de contrôle 12 permet également de contrôler les gradients de densité et d'indice optique.

[0030] Le module de contrôle 12 comprend une structure mécanique 13 placée entre la cathode 5 et le substrat 6 ainsi qu'un ensemble de caches 15 et un ensemble de moteurs 16. La structure mécanique 13 soutient l'ensemble de caches 15, par exemple à l'aide de bras mécaniques, tandis que l'ensemble de moteurs 16 actionne la structure mécanique 13 et la motorise afin de mettre en mouvement les caches 15 selon des mouvements latéraux de rotation ou de translation.

[0031] L'ensemble de moteurs 16 comprend par exemple des servomoteurs et/ou des moteurs pas à pas de manière à mettre précisément en mouvement les caches 15. De plus, les moteurs 16 fonctionnent en électronique basse tension, par exemple à 5 V. L'ensemble de moteurs 16 est rendu compatible d'une utilisation sous vide à haute température en remplaçant la graisse standard des pignons par une graisse à vide et en câblant des fils électriques de commande des moteurs avec une gaine PTFE.

[0032] L'ensemble de caches 15 est destiné à pouvoir être positionné sur le trajet du flux de

vapeur 11 de manière à en diminuer localement le flux et d'influer ainsi sur l'épaisseur de la couche mince 8. L'ensemble 15 comprend par exemple des caches de dispersion et/ou des écrans destinés à occulter une fraction du flux de vapeur 11 pendant le dépôt de la couche mince 8. La position de l'ensemble de caches 15 est configurable avant ou pendant le dépôt afin de former un gradient d'épaisseur désiré, ou un motif particulier de couche mince 8.

[0033] Dans un mode particulier de réalisation, l'ensemble de caches 15 comprend une grille de collimation. La grille de collimation permet d'occulter une fraction du flux de vapeur 11 tout en laissant passer une fraction configurable du flux de vapeur 11. La fraction configurable dépend de la grille de collimation utilisée. Par exemple, la fraction configurable comprend l'ensemble des particules du flux de vapeur 11 ayant un angle d'incidence prédéterminé. Dans un cas particulier, l'ensemble de caches 15 comprend une grille de collimation ne laissant passer que les particules du flux de vapeur 11 ayant un angle d'incidence normal à la grille de collimation.

[0034] Le module de contrôle 12 comprend en outre un ensemble de capteurs 17 et une batterie d'alimentation 18 du module de contrôle. La batterie d'alimentation 18 permet en particulier de rendre autonome le module de contrôle et ainsi de ne pas encombrer l'enceinte 2 de câbles d'alimentation provenant de l'extérieur de l'enceinte 2. La batterie d'alimentation 18 est préférablement une batterie Li-ion étanche de grande capacité fonctionnant sous vide et à haute température et qui répond plus généralement à des caractéristiques spatiales.

[0035] L'ensemble de capteurs 17 comprend des capteurs de température de l'enceinte et/ou du substrat. Dans un mode de réalisation, les capteurs de températures sont des thermocouples. L'ensemble de capteurs 17 comprend également des capteurs de déplacement de l'ensemble de caches 15 de manière à connaitre avec précision la position des écrans et/ou caches de dispersion et/ou grille de collimation dans le flux de vapeur 11.

[0036] Le module de contrôle 12 comprend également une carte mère 20 électronique comprenant un microcontrôleur 21 et une carte radiofréquence 22.

[0037] Le microcontrôleur 21 comprend un programme de pilotage de l'ensemble de moteurs 16 et de l'ensemble de capteurs 17. Le microcontrôleur 21 est relié aux capteurs 17 et aux moteurs 16, ainsi qu'à la batterie d'alimentation 18. Le programme de pilotage de l'ensemble de moteurs 16 et de l'ensemble de capteurs 17 est pourvu d'un module de gestion de la température et d'un module de gestion de la position de l'ensemble de caches 15 adaptés à transmettre des données au travers de la carte radiofréquence 22.

[0038] La carte radiofréquence 22 comprend une électronique d'émission/réception comprenant par exemple un module RF 433 MHZ avec une antenne ou un module

Wifi ou Bluetooth adapté à travailler à haute température.

[0039] La machine de dépôt 1 comprend également un appareil distant 23 pourvu d'un programme de supervision du fonctionnement du module de contrôle 12. L'appareil distant 23 est par exemple disposé hors de l'enceinte 2.

[0040] L'appareil distant 23 comprend un dispositif émetteur/récepteur radio 24 adapté pour réaliser une liaison radio avec la carte radiofréquence 22 du module de contrôle 12 de manière à piloter les mouvements de l'ensemble de caches 15 du module de contrôle 12 et du support 10 des substrats 6 et de manière à recevoir et envoyer des informations concernant la température, la position de l'ensemble de caches 15 ou tout autre donnée participant à la réalisation d'une couche mince 8.

[0041] L'appareil distant 23 comprend par exemple un ordinateur ou un calculateur industriel pourvu d'une interface homme-machine adaptée à la programmation des conditions de dépôt des multicouches par un opérateur et interfacé avec le module de contrôle 12 au travers de la liaison radio pour piloter à distance le module de contrôle 12 disposé dans l'enceinte 2 à partir de ladite programmation.

Revendications

[Revendication 1] Module de contrôle (12) de gradients, notamment optiques, d'un ou plusieurs substrats (6) à traiter dans une enceinte (2) sous vide de dépôt de couche mince (8), l'enceinte (2) comprenant une source (5) destinée à libérer un flux de vapeur (11) en direction du substrat (6), caractérisé en ce qu'il comprend une structure mécanique (13) destinée à être placée entre le substrat (6) et ladite source (5), un ensemble de caches (15) soutenu par la structure mécanique (13) et positionné sur le trajet du flux de vapeur (11) de manière à en diminuer localement le flux, un ensemble de moteurs (16) actionnant la structure mécanique (13) et l'ensemble de caches (15), un ensemble de capteurs (17), une batterie d'alimentation (18) du module de contrôle (12), et une carte mère (20) électronique comportant une carte radiofréquence (22) d'émission/réception et un microcontrôleur (21) comprenant un programme de pilotage de l'ensemble de moteurs (16) et de l'ensemble de capteurs (17) à partir de données reçues d'un appareil distant (23).

[Revendication 2] Module selon la revendication 1, dans lequel l'ensemble de moteurs (16) comprend des servomoteurs et/ou des moteurs pas à pas, l'ensemble de moteurs (16) fonctionnant en électronique basse tension.

[Revendication 3] Module selon l'une des revendications 1 et 2, dans lequel l'ensemble de caches (15) comprend des caches de dispersion et/ou des écrans destinés à se déplacer en translation et en rotation à l'aide de l'ensemble de moteurs (16) au travers du flux de vapeur (11) de manière à faire varier des caractéristiques physiques, notamment l'épaisseur et la densité, du dépôt de couche mince (8) sur le substrat (6) en obstruant localement une fraction du flux de vapeur (11).

[Revendication 4] Module selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel l'ensemble de caches (15) comprend une grille de collimation destinée à se déplacer en translation et en rotation au moyen de l'ensemble de moteurs (16) et destinée à ne laisser passer qu'une fraction configurable du flux de vapeur (11).

[Revendication 5] Module selon la revendication 4, dans lequel la fraction configurable comprend l'ensemble des particules du flux de vapeur (11) ayant un angle d'incidence prédéterminé.

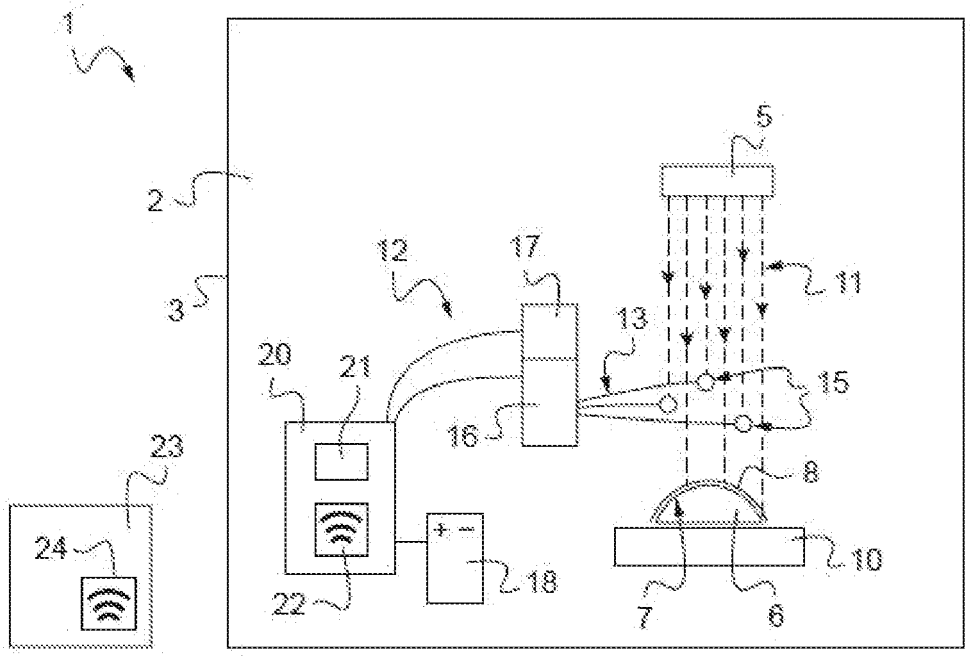
[Revendication 6] Module selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel l'ensemble de capteurs (17) comprend des capteurs de température de l'enceinte (2) et/ou des capteurs de déplacement de l'ensemble de

caches (17), l'ensemble de capteurs (17) étant relié à la carte mère (20), le programme de pilotage de l'ensemble de moteurs (16) et de l'ensemble de capteurs (17) étant pourvu d'un module de gestion de température adapté pour transmettre des données de température audit appareil distant (23) pourvu d'un programme de supervision du fonctionnement du module de contrôle (12).

[Revendication 7] Machine de dépôt (1) sous vide comprenant une enceinte (2) à vide et des moyens de dépôt de couches minces (8) sur substrat (6) dans l'enceinte (2) à vide, caractérisée en ce qu'elle comprend au moins un module de contrôle (12) selon l'une quelconque des revendications 1 à 6 disposé dans l'enceinte (2), et un appareil distant (23) apte à communiquer avec le module de contrôle et pourvu d'un programme de supervision du fonctionnement du module de contrôle (12) pour piloter les mouvements du module de contrôle (12) et d'un support (10) de substrats (6).

[Revendication 8] Machine de dépôt (1) sous vide selon la revendication 7, pour laquelle l'appareil distant (23) comprend un ordinateur ou un calculateur industriel pourvu d'une interface homme-machine adaptée pour la programmation des conditions de dépôt des multicouches et interfacé avec le module de contrôle (12) au moyen de la liaison radio pour piloter à distance le module de contrôle (12) disposé dans l'enceinte (2).

[Fig. 1]



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

INSTITUT NATIONAL DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement national

FA 900782
FR 2110515

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
Y	US 2002/139666 A1 (HSUEH PAUL [US] ET AL) 3 octobre 2002 (2002-10-03) * alinéa [0049]; revendications 1,1,2,10,12,13,15; figures 3,4,5,6,8 *	1-8	C23C14/54
Y	WO 2021/094665 A1 (SAFRAN ELECTRONICS & DEFENSE [FR]) 20 mai 2021 (2021-05-20) * revendications 1-6 *	1-8	
Y	US 2008/199609 A1 (KUAN DA-SHUANG [TW] ET AL) 21 août 2008 (2008-08-21) * alinéas [0028] - [0030], [0040]; figures 2,4,6 *	3-5	
A	US 7 062 348 B1 (FOLTA JAMES A [US]) 13 juin 2006 (2006-06-13) * colonne 2, ligne 49 - colonne 3, ligne 15; revendications 1,2,7; figure 3 *	3	
A	EP 0 908 532 A2 (IBM [US]) 14 avril 1999 (1999-04-14) * alinéa [0021]; figure 5 *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Y	US 6 364 956 B1 (WANG YOUQI [US] ET AL) 2 avril 2002 (2002-04-02) * revendication 16 *	3	C23C H01J H01L

Date d'achèvement de la recherche	Examinateur
30 avril 2022	Castagné, Caroline

CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS

X : particulièrement pertinent à lui seul
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie
A : arrière-plan technologique
O : divulgation non-écrite
P : document intercalaire

T : théorie ou principe à la base de l'invention
E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure.
D : cité dans la demande
L : cité pour d'autres raisons
.....
& : membre de la même famille, document correspondant

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 2110515 FA 900782

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **30-04-2022**
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2002139666 A1	03-10-2002	AUCUN	
WO 2021094665 A1	20-05-2021	FR 3103314 A1	21-05-2021
		WO 2021094665 A1	20-05-2021
US 2008199609 A1	21-08-2008	AUCUN	
US 7062348 B1	13-06-2006	AUCUN	
EP 0908532 A2	14-04-1999	DE 69812828 T2	05-02-2004
		EP 0908532 A2	14-04-1999
		US 6197164 B1	06-03-2001
US 6364956 B1	02-04-2002	AU 2632800 A	07-08-2000
		US 6364956 B1	02-04-2002
		US 2003106790 A1	12-06-2003
		WO 0043119 A1	27-07-2000