

②2 Date de dépôt : 29.10.08.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 30.04.10 Bulletin 10/17.

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

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : HORIBA JOBIN YVON SAS Société
par actions simplifiée — FR, CENTRE NATIONAL DE
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) Etablis-
sement public à caractère scientifique et technologique —
FR et ECOLE POLYTECHNIQUE Etablissement public
— FR.

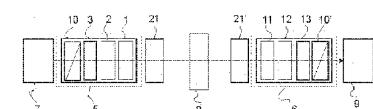
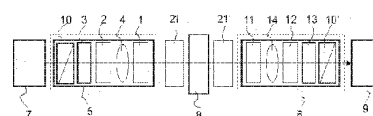
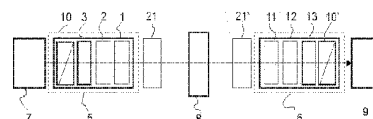
⑦2 Inventeur(s) : CATTELAN DENIS, GARCIA CAUREL
ENRIC, DE MARTINO ANTONELLO et DREVILLON
BERNARD.

⑦3 Titulaire(s) : HORIBA JOBIN YVON SAS Société par
actions simplifiée, CENTRE NATIONAL DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS) Etablissement
public à caractère scientifique et technologique, ECOLE
POLYTECHNIQUE Etablissement public.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET HARLE ET PHELIP.

⑤4 DISPOSITIF ET PROCEDE DE MESURES POLARIMETRIQUES SPECTROSCOPIQUES DANS LE DOMAINE
VISIBLE ET PROCHE INFRAROUGE.

⑤7 L'invention concerne un système polarimétrique spectroscopique sur un large domaine spectral, comprenant une source de lumière apte à émettre un faisceau lumineux incident sur un domaine de longueur d'onde, un générateur d'états de polarisation (PSG), un analyseur d'états de polarisation (PSA) et un détecteur. Le PSG et le PSA comprennent des moyens de modulation de la polarisation du faisceau lumineux. Selon l'invention, les moyens de modulation de la polarisation du PSG sont aptes à générer une séquence de m états de polarisation avec $m > 4$ à chaque longueur d'onde de mesure, les moyens de modulation de la polarisation du PSA sont aptes à déterminer une séquence de n états de polarisation avec $n > 4$ à chaque longueur d'onde de mesure, et les moyens de détection sont aptes à acquérir une séquence de N mesures avec $16 < N \leq n \times m$ à chaque longueur d'onde pour en extraire une mesure spectroscopique polarimétrique de la matrice de Mueller de l'échantillon. L'invention concerne également un procédé de mesure polarimétrique spectroscopique étendu.



La présente invention concerne un polarimètre et/ou un ellipsomètre à matrice de Mueller (MME) spectroscopique amélioré pour fonctionner sur un large domaine de longueurs d'onde avec une bonne qualité de mesure.

Plus particulièrement, le polarimètre ou ellipsomètre spectroscopique
5 faisant l'objet de la présente invention travaille dans un large domaine spectral couvrant le visible et le proche infrarouge (350 nm. – 2 μ m.) et présente un bon conditionnement sur cette large gamme spectrale. L'invention concerne préférentiellement un polarimètre utilisant des dispositifs à cristaux liquides (CL) pour moduler les états de polarisation de la lumière.

10 Des polarimètres et des ellipsomètres de Mueller spectroscopiques fonctionnant sur le domaine visible existent. De tels dispositifs permettent de mesurer à chaque longueur d'onde du spectre les 16 coefficients de la matrice de Mueller caractéristique d'un échantillon. Une matrice de Mueller est généralement représentée sous la forme d'une matrice M de dimension 4x4.
15 Le brevet US 2004/0130717 de Drévilion *et al.* décrit un système polarimétrique à base de cellules à cristaux liquides. Ce système comprend une partie excitation et une partie détection. La partie excitation émet un faisceau lumineux qui est transmis par un générateur d'états de polarisation (PSG) puis est réfléchi ou transmis par un échantillon. Le faisceau réfléchi ou
20 transmis par l'échantillon traverse la partie détection, qui comprend un analyseur d'états de polarisation (PSA) et un détecteur. Le PSG et le PSA sont symétriques et comprennent chacun un polariseur linéaire et deux cellules à cristaux liquides basées soit sur des cristaux ferroélectriques soit sur des cristaux nématiques. Une mesure complète classique consiste à
25 effectuer 16 acquisitions en modulant la polarisation de la lumière dans le PSG et le PSA. La modulation de la polarisation dans des dispositifs à cristaux liquides est contrôlée électriquement en faisant varier séquentiellement la tension électrique appliquée sur chaque cristal liquide entre deux valeurs (V_A , V_B) de manière à moduler l'état de polarisation de la
30 lumière en sortie de chaque CL entre deux états A et B. Les dispositifs à cristaux liquides, que ce soit des nématiques ou des ferroélectriques, se comportent comme des lames retard caractérisées par l'orientation de leur axe optique, ainsi que par le déphasage créé entre les deux composantes perpendiculaires du champ électrique associés au faisceau lumineux qui les
35 traverse. Pour les cristaux ferroélectriques (FCL), le déphasage reste constant

quelle que soit la tension appliquée mais l'orientation de l'axe optique commute entre deux positions stables θ_A et θ_B respectivement. Les FLC sont des éléments bistables. Pour les cristaux nématiques (NCL) au contraire, l'orientation de leur axe optique reste fixe mais le déphasage induit varie d'une façon continue et non linéaire en fonction de la tension appliquée V. L'application de deux tensions V_A et V_B génère ainsi deux retards différents.

Un polarimètre classique qui fonctionne en utilisant le nombre le plus petit d'états de polarisation pour mesurer une matrice de Mueller complète est généralement configuré pour effectuer 16 mesures. Le PSG d'un tel polarimètre génère 4 états de polarisation correspondant à 4 vecteurs de Stokes, et le PSA analyse 4 états de polarisation correspondant à 4 vecteurs de Stokes. Le PSG est représenté par une matrice de modulation W de dimension 4x4 et le PSA par une matrice de modulation A de dimension 4x4.

C'est notamment le cas de polarimètres à cristaux liquides ferroélectriques comprenant deux dispositifs à cristaux liquides dans le PSG et deux dispositifs à cristaux liquides dans l'analyseur d'état de polarisation. Chaque dispositif à cristal liquide peut être commandée par une électronique pour commuter entre deux états de polarisation. De manière similaire, un polarimètre à cristaux liquides nématiques est commandé pour appliquer deux valeurs de tension de manière à ce que chaque dispositif à cristal liquide nématique génère deux retards et ainsi deux états de polarisation.

Quel que soit le type de cristaux liquides utilisés (FCL ou NCL), l'acquisition et le traitement d'une séquence de 16 mesures permettent ainsi de déterminer complètement les 16 coefficients de la matrice de Mueller recherchée. Le PSG est classiquement représenté sous la forme d'une matrice de modulation W (4x4) dont les colonnes sont les quatre vecteurs de Stokes générés par le PSG. De même, le PSA est représenté sous la forme d'une matrice A de démodulation (4x4) dont les quatre lignes correspondent à quatre vecteurs de Stokes analysés par le PSA. La séquence de 16 mesures peut être représentée sous la forme d'une matrice S (4x4) définie par :

$$S = A \cdot M \cdot W \quad (1)$$

L'inversion de cette équation permet dans certains cas de déterminer la matrice de Mueller de l'échantillon :

$$M = A^{-1} \cdot S \cdot W^{-1} \quad (2)$$

Toutefois cette opération n'est pas toujours possible. Elle est impossible lorsque A et W sont singulières car pour ces matrices il n'est pas possible de définir la matrice inverse. Il y a aussi des matrices qui étant non-singulières sont très similaires à des matrices singulières. Du point de vue
5 numérique l'inversion de ces matrices est très instable et génère des grandes erreurs de calcul. Un des postulats de l'algèbre linéaire stipule que pour toute matrice existe toujours une matrice diagonale associée dont les éléments non nuls s'appellent les valeurs singulières. Les matrices singulières ont une ou plusieurs valeurs singulières nulles. Les matrices similaires à des matrices
10 singulières ont une ou plusieurs valeurs singulières très petites. Afin d'évaluer si une matrice est singulière ou proche de l'être il est possible d'utiliser un indicateur appelé conditionnement (C). Cet indicateur peut être défini comme le rapport entre la plus petite et la plus grande des valeurs singulières. Dans la littérature certains auteurs utilisent des définitions légèrement différentes du
15 conditionnement de celle retenue dans ce document. Par exemple Scott Tyo [J. Scott Tyo, « *Design of optimal polarimeters: maximization of signal-to-noise ratio and minimization of systematic error*», Applied Optics, 41, (2002), p. 619] utilise le rapport entre la plus grande et la plus petite des valeurs singulières. En général celle-ci et les autres définitions sont équivalentes et les
20 conclusions auxquelles il est possible d'arriver avec la définition retenue dans ce document peuvent être reproduites avec les autres définitions existantes.

Une autre particularité du conditionnement qui rend leur utilisation intéressante est que la précision des mesures à une longueur d'onde
quelconque dépend de la valeur du conditionnement car la propagation du
25 bruit et des erreurs dans la matrice mesurée S vers la matrice calculée M est proportionnel à $1/C$.

Pour un polarimètre fait avec des polariseurs linéaires et des retardateurs linéaires parfaits, la valeur maximale du conditionnement est idéalement de $1/\sqrt{3} \sim 0,57$. Ce conditionnement optimal peut être réalisé
30 expérimentalement pour un polarimètre monochromatique. Toutefois dans un polarimètre spectroscopique, le conditionnement varie généralement en fonction de la longueur d'onde du fait de la dispersion des composants optiques utilisés (lentilles, dispositifs à cristaux liquides, lames retard...). Un polarimètre spectroscopique peut néanmoins être optimisé sur un domaine
35 spectral de longueurs d'onde en ajustant l'orientation et/ou le déphasage des

composants du PSG et du PSA (cf. US 2004/0130717). Afin d'évaluer la qualité d'un polarimètre il est possible de prendre la valeur du conditionnement comme critère. Empiriquement on considère que le conditionnement d'un polarimètre spectroscopique doit en pratique être compris entre 0,2 et 0,57 sur tout le spectre d'utilisation. Une valeur du conditionnement inférieure à 0,2 rendrait les valeurs de la matrice de Mueller trop bruitées pour être exploitées. Le premier critère est alors de ne pas avoir de minima inférieur à 0,2-0,3 sur tout le spectre. Un second critère d'appréciation est l'homogénéité du conditionnement sur le domaine spectral considéré, qui détermine l'homogénéité de la précision des mesures sur l'ensemble du domaine spectral de mesure.

Il existe ainsi des polarimètres spectroscopiques pour le domaine visible et d'autres pour le domaine proche infrarouge. La publication Ladstein *et al.* (Phys. Stat. Sol. 5, N°5, 1097-1100, 2008) décrit par exemple un polarimètre proche infrarouge comprenant deux dispositifs à cristaux liquides ferroélectriques LC₁, LC₂ et deux lames à retard fixe F₁, F₂ dans le PSG comme dans le PSA (LC₃, LC₄ et F₃, F₄ respectivement) (cf. Figure 1). Ce dispositif permet de couvrir tout le domaine spectral proche infrarouge (800-1600 nm.) avec un conditionnement de niveau et d'homogénéité satisfaisants. Toutefois, on observe que les courbes de conditionnement ont tendance à décroître rapidement aux extrémités du domaine spectral.

Deux polarimètres, l'un pour le visible (400-800 nm) et l'autre pour le proche infrarouge (800-1600 nm) sont actuellement nécessaires pour effectuer des mesures couvrant la gamme spectrale 400-1600 nm avec une bonne précision. Il n'existe pas à ce jour de polarimètre de Mueller couvrant toute la gamme visible proche infrarouge avec un critère de conditionnement acceptable et homogène.

Un des buts de l'invention est de proposer un polarimètre capable de fournir des mesures sur la gamme spectrale 350 à 2000 nm, tout en présentant un conditionnement dont le niveau se situe dans les valeurs limites (entre 0,2 et 0,57) et relativement homogène.

La présente invention concerne un système polarimétrique spectroscopique pour analyser un échantillon comprenant une partie excitation, qui comprend une source de lumière apte à émettre un faisceau lumineux incident sur un domaine de longueur d'onde et un générateur d'états

de polarisation (PSG) comprenant un polariseur linéaire et des moyens de modulation de la polarisation du faisceau lumineux, une partie analyseur, qui comprend un analyseur d'états de polarisation (PSA) comprenant des moyens de modulation de la polarisation du faisceau lumineux et un polariseur linéaire et des moyens de détection du faisceau lumineux en fonction de la longueur d'onde comprenant une unité de traitement. Selon l'invention, les moyens de modulation de la polarisation du PSG sont aptes à générer une séquence de m états de polarisation avec $m > 4$ à chaque longueur d'onde de mesure, les moyens de modulation de la polarisation du PSA sont aptes à déterminer une séquence de n états de polarisation avec $n > 4$ à chaque longueur d'onde de mesure, et les moyens de détection sont aptes à acquérir une séquence de N mesures d'intensité lumineuse avec $16 < N \leq n \times m$ à chaque longueur d'onde pour en extraire la matrice de Mueller de l'échantillon.

Selon un mode de réalisation particulier, la partie excitation comprend une plateforme escamotable située entre le PSG et l'échantillon apte à introduire au moins un élément de calibration dans la chaîne optique du système polarimétrique et à retirer ledit élément de calibration une fois la calibration terminée, et la partie analyseur comprend une plateforme escamotable située entre le PSA et l'échantillon apte à introduire au moins un élément de calibration dans la chaîne optique et à retirer ledit élément de calibration une fois la calibration terminée.

Selon un premier mode de réalisation, les moyens de modulation de la polarisation du PSG sont aptes à générer une séquence de $m = 8$ états de polarisation à chaque longueur d'onde de mesure, les moyens de modulation de la polarisation du PSA sont aptes à déterminer une séquence de $n = 8$ états de polarisation à chaque longueur d'onde de mesure, et les moyens de détection sont aptes à acquérir une séquence de $N = 64$ mesures à chaque longueur d'onde pour en extraire la matrice de Mueller de l'échantillon. Ce mode réalisation est appelé dans la suite de ce document mode complet.

Selon un second mode de réalisation, les moyens de modulation de la polarisation du PSG sont aptes à générer une séquence de $m = 6$ états de polarisation à chaque longueur d'onde de mesure, les moyens de modulation de la polarisation du PSA sont aptes à déterminer une séquence de $n = 6$ états de polarisation à chaque longueur d'onde de mesure, et les moyens de détection sont aptes à acquérir une séquence de $N = 36$ mesures à chaque

longueur d'onde pour en extraire la matrice de Mueller de l'échantillon. Ce mode réalisation est appelé dans la suite de ce document mode réduit.

Selon un mode de réalisation préféré, les moyens de modulation de la polarisation du PSG et du PSA comprennent une pluralité de dispositifs à cristaux liquides et des moyens de commande de tension électrique appliquée
5 à chacun des dispositifs à cristaux liquides aptes à moduler l'orientation et/ou le retard des états de polarisations.

Selon un mode de réalisation, les moyens de modulation de la polarisation du PSG comprennent trois dispositifs à cristaux liquides ferroélectriques (FLC) aptes à générer une séquence de $m=8$ états de polarisation et en ce que les moyens de modulation de la polarisation du PSA comprennent trois dispositifs à cristaux liquides ferroélectriques (FLC) aptes à déterminer une séquence de $n=8$ états de polarisation.
10

Selon un autre mode de réalisation, le PSG comprend une lame retard
15 disposée entre deux des dispositifs à cristaux liquides ferroélectriques, et le PSA comprend une lame retard disposée entre deux des dispositifs à cristaux liquides ferroélectriques.

Selon un mode de réalisation particulier, les lames retard sont des bi-prismes achromatiques.

Selon un mode de réalisation, les dispositifs à cristaux liquides sont des
20 dispositifs à cristaux liquides nématiques et le système polarimétrique comprend un dispositif électronique de contrôle apte à moduler le retard des cristaux liquides nématiques.

Selon un mode de réalisation, les moyens de modulation de la polarisation du PSG et du PSA comprennent respectivement trois dispositifs à
25 cristaux liquides nématiques (NLC) et les moyens de commande de tension électrique sont aptes à commuter le retard de chaque dispositif à cristal liquide nématique de manière à générer une séquence de $m = 8$ états de polarisation et respectivement à déterminer une séquence de $n = 8$ états de polarisation.
30

Selon un mode de réalisation, les moyens de modulation de la polarisation du PSG et du PSA comprennent respectivement deux dispositifs à cristaux liquides nématiques (NLC) et les moyens de commande de tension électrique sont aptes à moduler le retard d'au moins un dispositif à cristal
35 liquide nématique du PSG respectivement du PSA entre trois valeurs de

tension de manière à générer une séquence de $m=6$ états de polarisation et respectivement à déterminer une séquence de $n=6$ états de polarisation.

Selon un mode de réalisation, le système polarimétrique est optimisé pour le domaine spectral de 350 nm à 2 μ m.

5 Selon un mode de réalisation, le système polarimétrique est un ellipsomètre.

Selon un mode de réalisation, le système polarimétrique est un polarimètre permettant de déterminer la matrice de Mueller d'un échantillon à partir de la séquence de N mesures de l'intensité lumineuse détectée où N est
10 supérieur à 16. Selon le mode de fonctionnement complet, $N = 64$, et selon le mode de fonctionnement réduit $N = 36$.

Selon un mode de réalisation, les moyens de détection comprennent un détecteur imageur, adapté à l'unité de traitement pour former une image polarimétrique de l'échantillon.

15 L'invention concerne également un procédé de mesure polarimétrique spectroscopique d'un échantillon qui comprend les étapes suivantes :

- éclairage de l'échantillon au moyen d'un faisceau lumineux incident provenant d'une source émettant de la lumière dans un domaine de longueurs d'onde. L'état de polarisation de ce faisceau est
20 déterminé par le PSG comprenant un polariseur. Ledit PSG module l'état de polarisation du faisceau lumineux, ledit échantillon transmet ou réfléchit le faisceau lumineux modulé en polarisation,
- détection de la mesure au moyen d'un détecteur et d'une section détection comprenant un analyseur d'état de polarisation et un
25 polariseur, ledit PSA déterminant l'état de polarisation du faisceau lumineux détecté, et
- traitement des signaux détectés pour en extraire une mesure polarimétrique de l'échantillon.

Selon l'invention, on module les états de polarisation générés suivant
30 une séquence de $m > 4$ états de polarisation, on détermine les états de polarisation analysés suivant une séquence de $n > 4$ états de polarisation et on effectue une séquence de $N = n \times m$ mesures.

Selon un mode de réalisation préféré du procédé de mesure polarimétrique spectroscopique, on génère une séquence de 8 états de

polarisation, on analyse une séquence de 8 états de polarisation, et on acquiert une séquence de 64 mesures à chaque longueur d'onde.

Selon un autre mode de réalisation du procédé de mesure polarimétrique spectroscopique de l'invention, on génère une séquence de 6 états de polarisation, on analyse une séquence de 6 états de polarisation, et on acquiert une séquence de 36 mesures à chaque longueur d'onde.

La présente invention concerne également les caractéristiques qui ressortiront au cours de la description qui va suivre et qui devront être considérées isolément ou selon toutes leurs combinaisons techniquement possibles.

Cette description est donnée à titre d'exemple non limitatif et fera mieux comprendre comment l'invention peut être réalisée en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement un polarimètre à cristaux liquides selon la technique antérieure ;
- la figure 2 représente des courbes spectrales de conditionnement du polarimètre de la figure 1 ;
- la figure 3 représente schématiquement un premier mode de réalisation (types I ou II) d'un polarimètre de l'invention ;
- la figure 4 représente schématiquement un second mode de réalisation (types III ou IV) d'un polarimètre de l'invention ;
- la figure 5 représente schématiquement un troisième mode de réalisation (types V ou VI) d'un polarimètre de l'invention ;
- la figure 6 représente un spectre de conditionnement correspondant à un polarimètre en configuration de type I de l'invention ;
- la figure 7 représente un spectre de conditionnement correspondant à un polarimètre en configuration de type II de l'invention ;
- la figure 8 représente des spectres de conditionnement correspondant respectivement aux configurations I et III d'un polarimètre de l'invention ;
- la figure 9 représente des spectres de conditionnement correspondant respectivement aux configurations II et IV d'un polarimètre de l'invention ;
- la figure 10 représente un spectre de conditionnement correspondant à un polarimètre en configuration de type V de l'invention ;
- la figure 11 représente un spectre de conditionnement correspondant à un polarimètre en configuration de type VI de l'invention.

- la figure 12 représente un exemple simulé de mesure de matrice de Mueller dans le domaine spectral de 400 à 1800 nm pour une plaquette de silicium cristallin recouverte d'une couche mince de 1 micron d'épaisseur de silicium microcristallin. Entre la couche et le substrat se trouve une interface
5 de silicium amorphe de 20 nm d'épaisseur.

- la figure 13 représente un exemple simulé de mesure de la matrice de Mueller dans le domaine spectral de 400 à 1800 nm correspondant à une couche de silicium de deux microns sur un substrat de verre.

La figure 1 représente schématiquement la structure d'un polarimètre à
10 cristaux liquides selon l'art antérieur. Le polarimètre comprend une source de lumière 7, un générateur d'états de polarisation PSG 5, un analyseur d'états de polarisation PSA 6 et un détecteur 9. Le générateur d'états de polarisation 5 comprend un polariseur 10, deux dispositifs à cristaux liquides 1, 2, et deux lames à retard fixe 4, 4'. De manière symétrique, l'analyseur d'état de
15 polarisation 6 comprend deux dispositifs à cristaux liquides 11, 12, deux lames à retard fixe 14, 14' et un polariseur 10'. Un faisceau de lumière 17 émis par la source 7 est modulé en polarisation par le générateur d'état de polarisation puis éclaire l'échantillon 8. Le faisceau lumineux réfléchi ou transmis par l'échantillon est à nouveau modulé en polarisation par l'analyseur
20 d'état de polarisation et atteint le détecteur 9. Le générateur 5 qui comprend deux CL peut générer une séquence de 4 états de polarisation ; de même pour l'analyseur 5. Une mesure comprend l'acquisition de 16 coefficients, correspondant à une séquence de 16 états de polarisation du PSG et du PSA.

Entre le PSG 5 et l'échantillon 8 se trouve une plateforme escamotable
25 21 (non représentée sur la figure 1) qui sert à introduire les différents échantillons de calibration à l'intérieur de la chaîne optique lors de la calibration du PSG. Pendant les mesures de routine cette plateforme retire les échantillons de calibration de la chaîne optique. De façon similaire, entre l'échantillon 8 et le PSA se trouve une autre plateforme escamotable qui sert
30 à introduire les différents échantillons de calibration à l'intérieur de la chaîne optique lors de la calibration du PSA. Pendant les mesures de routine cette plateforme retire les échantillons de calibration de la chaîne optique.

L'orientation des axes des composants et le déphasage induit par les lames retard fixe sont optimisés de manière à ce que le critère de
35 conditionnement soit maximum sur un large domaine spectral. L'utilisation de

lames achromatiques 4, 4' permet dans certains cas d'améliorer le critère de conditionnement. Toutefois le domaine d'utilisation reste cependant limité au proche infrarouge (800-1600 nm) comme représenté sur la figure 2.

Nous décrivons ci-après différentes configurations de polarimètres afin d'illustrer différents modes de réalisation de l'invention. Les performances et la robustesse des différentes configurations sont également présentées.

Les moyens de modulation de la polarisation du polarimètre de l'invention sont avantageusement des dispositifs à cristaux liquides ferroélectriques (FLC) ou nématiques (NLC). Toutefois, l'invention ne se limite pas à ces moyens de modulation de polarisation.

Dans un polarimètre selon l'invention, le PSG génère m états de polarisation correspondant à m vecteurs de Stokes, et le PSA analyse n états de polarisation correspondant à n vecteurs de Stokes. Le PSG est représenté par une matrice de modulation W de dimension $4 \times m$ et le PSA par une matrice de modulation A de dimension $n \times 4$. Comme dans le cas des polarimètres décrits précédemment, l'ensemble des N mesures peut être groupé sous forme matricielle, appelée dans la suite de ce document S , de dimension $n \times m$. La généralisation de l'expression (1) permet d'écrire les différents éléments de la matrice S comme suit :

$$S_{p,k} = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 A_{p,i} M_{i,j} W_{j,k} \quad \text{pour } p \in [1,n], k \in [1,m], i \in [1,4] \text{ et } j \in [1,4] \quad (3)$$

L'application de l'expression (2) généralisée et adaptée à la taille des matrices A et W , peut s'écrire comme suit :

$$M_{i,j} = \sum_{p=1}^n \sum_{k=1}^m A_{i,p}^{-1} S_{p,k} W_{k,j}^{-1} \quad \text{pour } p \in [1,n], k \in [1,m], i \in [1,4] \text{ et } j \in [1,4] \quad (4)$$

Cette relation (4) permet l'extraction de la matrice de Mueller à partir de la matrice de mesures, S , et des matrices pseudo-inverses A^{-1} et W^{-1} des matrices A et W respectivement. Des méthodes numériques permettant de calculer des matrices pseudo-inverses ont été rapportés par W. H. Press et al. [Numerical Recipes in Pascal, Cambridge University Press]. Les matrices A et W sont déterminées au cours de la calibration du polarimètre.

L'étape de calibration d'un polarimètre est très délicate. En effet, l'exactitude et la précision des mesures fournies par l'appareil dépendent de cette étape de calibration. A notre connaissance, l'état de l'art actuel présente essentiellement deux stratégies différentes pour calibrer un polarimètre. La

première stratégie consiste à modéliser un par un tous les éléments optiques qui configurent la chaîne optique de l'instrument. Cela implique souvent d'introduire des paramètres empiriques dont il faut trouver ensuite la valeur en mesurant des échantillons de référence et en imposant une série des hypothèses sur les mesures attendues. Cette méthode, qui est la plus commune, présente plusieurs inconvénients. D'abord, il faut que l'appareil à calibrer soit constitué d'éléments optiques suffisamment connus et stables pour pouvoir être modélisés par des lois mathématiques simples. Ensuite, il faut disposer d'échantillons de référence ayant des propriétés suffisamment stables et bien connues pour pouvoir extrapoler leur réponse sans la mesurer. La deuxième stratégie est une méthode originale proposée par Drévilion et Compain [US 6,175,412] appelée méthode des valeurs propres. Cette méthode, numériquement très robuste, permet de s'affranchir de la connaissance détaillée de la réponse optique des éléments optiques qui constituent le polarimètre. Cet avantage permet d'utiliser la méthode pour calibrer tout type de polarimètre. Dans notre cas, étant donné que le comportement des cristaux liquides n'est connu que d'une façon très approximative, nous avons choisi de calibrer le polarimètre avec la méthode des valeurs propres tel qu'elle a été décrite par Drévilion et Compain. Dans l'état de l'art, la méthode des valeurs propres a déjà été utilisée pour calibrer un polarimètre classique par Drévilion et De Martino [US 7,196,792]. Dans notre cas nous allons appliquer la même procédure telle qu'elle est décrite par Drévilion et De Martino.

Le générateur 5 et l'analyseur 6 d'états de polarisation décrits dans les exemples de réalisation suivants sont avantageusement symétriques, ce qui permet de réduire les coûts de fabrication. Toutefois, des modes de réalisations non symétriques sont également envisageables dans le cadre de l'invention.

Ces différents exemples de configurations sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Configuration	I	II	III	IV	V	VI
Nombre et type de dispositifs à cristaux liquides dans PSG ou PSA	3 FCL	3 FCL	3 FCL + 1 lame d'onde retard fixe	3 FCL + 1 lame d'onde retard fixe	3 NCL	3 NCL
Séquence de génération et acquisition (N)	64	36	64	36	64	36

Tableau 1 : exemples de réalisation

L'invention ne se limite cependant pas à ces quelques configurations.

Selon un premier mode de réalisation de l'invention (config. I),
 5 représenté schématiquement sur la figure 3, le polarimètre comprend un générateur d'états de polarisation 5 comprenant trois dispositifs à cristaux liquides ferroélectriques 1, 2, 3, et un analyseur d'états de polarisation 6 comprenant trois dispositifs à cristaux liquides ferroélectriques 11, 12 et 13.
 Chaque dispositif à cristaux liquides (1, 2, 3, 11, 12, 13) est commandé
 10 électriquement de manière à commuter entre deux états de polarisation stables, le déphasage dans les deux états étant identique et l'axe de polarisation du dispositif basculant de $\pm 45^\circ$. Les deux états de polarisation possibles pour chaque dispositif sont schématiquement désignés par les lettres A et B respectivement.

15 Le générateur d'état de polarisation 5 est ainsi apte à générer une séquence de huit états de polarisations différents :

N° Etat de polarisation	FCL1	FCL2	FCL3
1	A ₁	A ₂	A ₃
2	A ₁	A ₂	B ₃
3	A ₁	B ₂	A ₃
4	A ₁	B ₂	B ₃
5	B ₁	A ₂	A ₃
6	B ₁	A ₂	B ₃
7	B ₁	B ₂	A ₃
8	B ₁	B ₂	B ₃

Tableau 2 : génération d'une séquence de 8 états de polarisations avec 3 dispositifs à cristaux liquides.

De même l'analyseur d'état de polarisation 6 est apte à analyser une séquence de huit états de polarisation. Le polarimètre peut ainsi effectuer une
 5 séquence de soixante quatre ($N = 64$) acquisitions correspondant à soixante quatre combinaisons d'états de polarisation des dispositifs à cristaux liquides ferroélectriques 1, 2, 3, 11, 12, et 13.

Chaque dispositif à cristal liquide ferroélectrique respectivement 1, 2, 3, 11, 12, et 13 est spécifié pour introduire un déphasage de 90° pour une
 10 longueur d'onde spécifique λ . Les valeurs des ces longueurs d'onde qui permettent d'optimiser la valeur du conditionnement dans le domaine spectroscopique de mesure sont indiquées dans le tableau 3. A cause du chromatisme des cristaux liquides, le déphasage introduit pour chaque dispositif est différent de 90° pour toute autre longueur d'onde que celle
 15 indiquée dans le tableau. Le générateur d'états de polarisation 5 est symétrique de l'analyseur d'état de polarisation 6. Les orientations relatives du dispositif 1, 2, et 3 sont ajustées comme indiqué dans le tableau 3, ci-dessous, de manière à optimiser la valeur du conditionnement dans le domaine spectral de mesure.

20

$\Delta LC_3 = 90^\circ$	$\lambda_3 = 1150 \text{ nm}$	$\theta_3 = 46^\circ$
$\Delta LC_2 = 90^\circ$	$\lambda_3 = 1050 \text{ nm}$	$\theta_3 = -5^\circ$
$\Delta LC_1 = 90^\circ$	$\lambda_1 = 600 \text{ nm}$	$\theta_1 = 72^\circ$

Tableau 3 : valeurs optimisées des orientations de 3 FCL d'un PSG et d'un PSA en Config. I

La figure 6 montre une courbe spectrale du conditionnement d'un
 25 polarimètre en configuration de type I (mode complet) résultant de l'optimisation des paramètres, retards et orientations, des trois dispositif à cristaux liquides. Les valeurs du conditionnement obtenu sont situées dans l'intervalle de 0,2 à 0,51 pour une gamme de longueur d'onde très large $\sim 420 - 1600 \text{ nm}$. Ce conditionnement présente une bonne homogénéité sur tout le
 30 domaine spectral.

La robustesse de chaque configuration est évaluée pour différentes sources d'erreurs expérimentales : erreur d'alignement des axes optiques des

composants, dérive thermique des retards... Une cartographie des courbes de conditionnement pour des variations de retard des FCL1, FCL2 et FCL3 est établie. Les valeurs limites de conditionnement acceptables fournissent une valeur de tolérance. Ainsi, il apparaît que dans la configuration I (3FCL, N=64), la tolérance sur l'erreur de retard est de ± 4 deg. pour les FCL 2 et 3, et de ± 10 deg. pour le FCL1.

De plus cette configuration I (mode complet) nécessite une séquence de 64 acquisitions, au lieu d'une séquence classique de 16 acquisitions pour un polarimètre de l'art antérieur à 16 états de polarisation. L'acquisition prend donc quatre fois plus de temps. Même si le domaine spectral accessible avec un seul polarimètre est considérablement étendu par rapport aux polarimètres de l'état de la technique, l'augmentation d'un facteur 4 de la durée d'acquisition est un inconvénient.

Selon une variante du premier mode de réalisation de l'invention (config. II ou mode réduit), le polarimètre est identique au polarimètre décrit précédemment sous la dénomination de configuration I. Ce polarimètre représenté schématiquement sur la figure 5 comprend trois dispositifs ferroélectriques 1, 2, 3 dans le générateur d'états de polarisation, 5, et respectivement 11, 12, 13 dans l'analyseur d'états de polarisation, 6, et est apte à générer 64 états de polarisation. Toutefois, le système d'acquisition n'acquiert dans ce mode réduit, qu'une séquence de 36 acquisitions parmi les soixante quatre possibles : le PSG, 5, ne génère qu'une séquence de 6 états de polarisation (sur les 8 possibles du tableau 2) et le PSA 6 n'analyse qu'une séquence de 6 états de polarisation (sur les 8 possibles) : par exemple on utilise la séquence réduite des états de polarisation N° 1, 2, 3, 4, 6, 8 (du tableau 2).

Pour faire travailler le polarimètre dans ce mode réduit (config. II), les orientations relatives des dispositifs 1, 2, et 3 sont ajustées comme indiqué dans le tableau 4 de manière à optimiser le spectre de conditionnement pour six états de polarisation retenus dans le générateur 5 et dans l'analyseur 6 d'états de polarisation.

Les valeurs obtenues sont les suivantes :

$\Delta LC_3 = 90^\circ$	$\lambda_3 = 1180 \text{ nm}$	$\theta_3 = 45.0^\circ$
$\Delta LC_2 = 90^\circ$	$\lambda_3 = 1000 \text{ nm}$	$\theta_3 = -5.0^\circ$
$\Delta LC_1 = 90^\circ$	$\lambda_1 = 600 \text{ nm}$	$\theta_1 = 58^\circ$

Tableau 4 : valeurs optimisées des orientations de 3 FCL d'un PSG et d'un PSA en Config. II

La figure 7 montre les valeurs du conditionnement dans le domaine spectroscopique de 400 à 1700 nm correspondant à un PSG ou à un PSA monté en configuration II selon les spécifications rapportées dans le tableau 4. Les valeurs du conditionnement obtenu se trouvent dans l'intervalle de 0,2 à 0,4. On observe une dégradation du conditionnement comparé à celui de la configuration I (Fig. 6), dû à la réduction du nombre d'acquisitions de 64 à 36. Le conditionnement présente toutefois une bonne homogénéité (pas de pics) sur le domaine spectral. Cette configuration II a l'avantage de n'allonger la durée totale d'acquisition que d'un facteur environ deux comparé à une acquisition classique sur une séquence de 16 états de polarisation. Toutefois, cette configuration II (mode réduit) est plus sensible que la configuration I (mode complet) aux erreurs d'alignement des composants (tolérance $< \pm 3$ deg.) ainsi qu'aux variations de retard du FCL1 et FCL 4 ($< \pm 5^\circ$ deg.). Les dérives de retard étant souvent dues à des variations de température, cette configuration requiert donc une bonne régulation thermique.

Suivant un second mode de réalisation de l'invention (config. III mode complet), représenté schématiquement dans la figure 4, le polarimètre comprend un générateur d'états de polarisation (PSG), 5, comprenant trois dispositifs à cristaux liquides ferroélectriques 1, 2, 3 ainsi qu'une lame demi onde achromatique 4. L'analyseur d'états de polarisation (PSA), 6, est symétrique du PSG, 5, et il comprend trois dispositifs à cristaux liquides ferroélectriques 11, 12, 13 ainsi qu'une lame demi-onde achromatique 14.

$\Delta LC_3 = 90^\circ$	$\lambda_3 = 1150 \text{ nm}$	$\theta_3 = 46^\circ$
$\Delta LC_2 = 90^\circ$	$\lambda_3 = 1050 \text{ nm}$	$\theta_3 = -5^\circ$
$\Delta L = 180^\circ$	Achromatique	$\theta_2 = 92^\circ$
$\Delta LC_1 = 90^\circ$	$\lambda_1 = 600 \text{ nm}$	$\theta_1 = 72^\circ$

Tableau 5 : valeurs optimisées des orientations de 3 FCL d'un PSG et d'un PSA en Config. III

La figure 8 présente les valeurs (ligne noire continue) du conditionnement d'un PSG ou d'un PSA fonctionnant dans le domaine de 400 à 1700 nm monté en configuration III selon les spécifications rapportées par le tableau 5. La ligne noire en pointillé représente le conditionnement d'un PSG ou d'un PSA fonctionnant en configuration III selon les spécifications du tableau 5 mais sans la lame achromatique. La lame achromatique permet d'améliorer le conditionnement, en particulier sur le domaine visible.

Suivant une variante du second mode de réalisation de l'invention appelée configuration IV, le polarimètre est identique au polarimètre décrit précédemment selon la configuration III, mais fonctionnant en mode réduit. Ce polarimètre comprend trois dispositifs ferroélectriques et une lame à retard fixe (4) (et préférentiellement la plus achromatique possible) dans le PSG et une autre lame achromatique (14) dans le PSA. Toutefois, on génère une séquence réduite de 6 états de polarisation (au lieu d'une séquence de 8 états comme dans la configuration III), on analyse une séquence réduite de 6 états de polarisation et on mesure une séquence réduite de 36 acquisitions.

Les paramètres concernant les retards et les orientations relatives des dispositifs à cristaux liquides 1, 2 et 3 dans le cas d'un PSG (et des dispositifs 11, 12 et 13 dans le cas d'un PSA) qui permettent l'optimisation spectrale du conditionnement sont indiquées dans le tableau 6. Les états utilisés sont ici les états N° 1, 2, 3, 6, 7 et 8 du tableau 2.

$\Delta LC_3 = 90^\circ$	$\lambda_3 = 1130 \text{ nm}$	$\theta_3 = 28.6^\circ$
$\Delta LC_2 = 90^\circ$	$\lambda_3 = 1060 \text{ nm}$	$\theta_3 = 15.6^\circ$
$\Delta L = 180^\circ$	Achromatique	$\theta_2 = -14.4^\circ$
$\Delta LC_1 = 90^\circ$	$\lambda_1 = 578 \text{ nm}$	$\theta_1 = -28^\circ$

Tableau 6 : valeurs optimisées des orientations de 3 FCL d'un PSG ou d'un PSA en Config. IV fonctionnant en mode réduit.

La figure 9 présente deux courbes. La courbe noire continue représente les valeurs du conditionnement pour un PSG ou un PSA fonctionnant en configuration IV (mode réduit) avec les valeurs optimales rapportées dans le tableau 6. L'absence de la lame achromatique du montage donnerait comme résultat les valeurs du conditionnement représentées par la courbe noire pointillée. En absence de lame achromatique, on observe une

forte dégradation de la courbe de conditionnement. La lame achromatique permet d'améliorer le conditionnement, en particulier sur le domaine rouge et proche infrarouge de 650 à 1700 nm.

La configuration IV est peu sensible aux variations de retard du FCL1
5 et de la lame achromatique. La tolérance aux dérives du retard des cristaux FLC3 et FCL4 est d'environ ± 4 deg.

Les quatre exemples de réalisation décrits jusqu'à ce point concernent tous des polarimètres à base de cellules à cristaux liquides ferroélectriques. L'invention ne se limite pas à ce type de cellules. Dans les exemples suivants
10 nous décrivons un polarimètre basé sur l'utilisation de cellules à cristaux liquides nématiques.

Selon un troisième mode de réalisation de l'invention (mode complet configuration V et mode réduit configuration VI), représenté schématiquement sur la figure 5, le polarimètre comprend un générateur d'états de polarisation (PSG), 5, comprenant trois cellules à cristaux liquides nématiques 1, 2, 3, et un analyseur d'états de polarisation (PSA), 6, comprenant trois cellules à cristaux liquides nématiques 11, 12 et 13.
15

En configuration V, la tension électrique appliquée aux bornes des cellules nématiques 1, 2, 3 est modulée entre deux valeurs (V_A , V_B).
20 L'orientation des cellules nématiques reste fixe, mais leur déphasage varie en fonction des valeurs de V_A et V_B . Lorsqu'il fonctionne en mode complet, le PSG, 5, peut ainsi générer une séquence de 8 états de polarisation, de même que le PSA, 6. Les valeurs des déphasages ainsi que les orientations des cellules qui rendent un conditionnement optimal du PSG, 5, et du PSA, 6, dans le domaine spectral le plus étendu possible sont indiqués dans le tableau 7.
25

$\Delta A3 = 95^\circ$	$\Delta B3 = 245^\circ$	$\lambda3 = 640 \text{ nm}$	$\theta3 = 65^\circ$
$\Delta A2 = 50^\circ$	$\Delta B2 = 158^\circ$	$\lambda2 = 780 \text{ nm}$	$\theta2 = -70^\circ$
$\Delta A1 = 10^\circ$	$\Delta B1 = 225^\circ$	$\lambda1 = 850 \text{ nm}$	$\theta1 = 38^\circ$

Tableau 7 : Valeurs optimisées des déphasages et des orientations de 3 cellules à cristaux liquides nématiques d'un PSG ou d'un PSA en configuration V (mode complet).
30

La figure 10 présente les valeurs spectrales du conditionnement pour les valeurs du tableau 7, c'est-à-dire pour une séquence complète de 64

acquisitions. Les valeurs du conditionnement ainsi obtenues sont remarquablement hautes (proches du maximum théorique) sur une large bande spectrale allant de 450 à 1100 et très homogènes.

De plus, ce mode de réalisation à 3 NCL et pour une séquence
5 complète de 64 acquisitions est peu sensible à l'alignement et aux variations de retard des cristaux. La tolérance sur l'angle d'orientation du NCL2 est de ± 9 deg., et pour les NCL1 et NCL3 cette tolérance atteint ± 20 deg.

La configuration VI correspond à un polarimètre à 3 dispositifs à cristaux liquides nématiques dans le PSG, et 3 dispositifs à cristaux liquides
10 nématiques dans le PSA. Le PSG et le PSA génèrent chacun une séquence de 6 états de polarisation, ce qui porte à $6 \times 6 = 36$ le nombre d'acquisitions nécessaires pour faire une mesure en mode réduit.

La tension électrique appliquée aux bornes des dispositifs à cristaux liquides nématiques 1, 2, 3 du PSG, 5, et les dispositifs à cristaux liquides
15 nématiques 11, 12 et 13 du PSA, 6, est modulée entre deux valeurs (V_A , V_B). L'orientation des cellules nématiques reste fixe, mais leur déphasage varie en fonction des valeurs V_A et V_B .

On choisit dans cet exemple de réalisation la séquence d'états de polarisation suivante : N° 1, 2, 3, 6, 7 et 8 selon la notation du tableau 2.

20 Les valeurs des déphasages ainsi que les orientations des cellules qui rendent un conditionnement optimal du PSG, 5, et du PSA, 6, dans le domaine spectral le plus étendu possible sont indiqués dans le tableau 8.

$\Delta A_3 = 70^\circ$	$\Delta B_3 = 225^\circ$	$\lambda_3 = 520 \text{ nm}$	$\theta_3 = 70^\circ$
$\Delta A_2 = 15^\circ$	$\Delta B_2 = 170^\circ$	$\lambda_2 = 650 \text{ nm}$	$\theta_2 = -70^\circ$
$\Delta A_1 = 42^\circ$	$\Delta B_1 = 280^\circ$	$\lambda_1 = 750 \text{ nm}$	$\theta_1 = 35^\circ$

Tableau 8 : Valeurs optimisées des déphasages et des orientations de 3
cellules à cristaux liquides nématiques d'un PSG ou d'un PSA en
25 configuration VI (mode réduit).

La figure 11 présente les valeurs spectrales du conditionnement pour les valeurs du tableau 8, c'est-à-dire pour une séquence réduite de 36 acquisitions. Le conditionnement ainsi obtenu est bon mais moins que pour le mode complet à 64 acquisitions. Toutefois la mesure prend deux fois moins
30 de temps que dans le mode complet. La sensibilité aux défauts d'alignement des cellules à cristaux liquides ainsi qu'aux dérives de retard des cristaux est environ doublée en mode réduit comparée à la mesure comprenant une

séquence complète de 64 acquisitions. La tolérance sur l'angle d'orientation du NCL2 est de $\pm 4,5$ deg., et pour les NCL1 et NCL3 cette tolérance est de ± 10 deg.

Les figures 12 et 13 sont des simulations de matrices de Mueller afin d'illustrer des mesures représentatives d'un polarimètre selon la présente invention. Les deux matrices correspondent à des systèmes couramment rencontrés dans le travail avec des matériaux semi-conducteurs en couche mince, très utilisés en micro-électronique et aussi pour la production d'énergie photovoltaïque. Ces échantillons permettent de mettre en évidence les avantages d'un polarimètre de l'invention comparé aux polarimètres de l'état antérieur de la technique. Pour construire des dispositifs basés sur des matériaux semi-conducteurs en couche mince il est nécessaire de contrôler l'épaisseur de ces couches. Pour cela il est nécessaire de mesurer les échantillons dans un domaine de longueurs d'onde pour lequel le matériau qui forme les couches soit transparent. Cela peut se comprendre facilement en considérant un échantillon constitué par un empilement de couches sur un substrat. Si une des couches de la pile est opaque elle ne permet pas d'avoir des informations sur les couches qui se trouvent en dessous d'elle car la lumière ne les atteint pas. Une explication plus complète et rigoureuse peut être trouvée dans plusieurs ouvrages comme par exemple [Azzam & Baschara, Ellipsometry and Polarized Light, North Holland, 1987]. Pour des matériaux basés sur le silicium, qui sont les plus utilisés actuellement, comme le silicium amorphe, le silicium monocristallin ou le silicium poly-cristallin, il se trouve que leur domaine de transparence se situe à des longueurs d'onde supérieures à 730 nm, 960 nm et 950 nm respectivement. Cela implique que les polarimètres de l'état de l'art dont le domaine spectral de travail est limité au mieux entre 400 et 900 nm ne sont pas adaptés. L'utilisation de polarimètres travaillant à des longueurs d'onde plus grandes, dans l'infrarouge proche, est clairement plus adéquate. La mesure des épaisseurs de couches minces par des méthodes spectroscopiques est facilitée par l'apparition d'interférences dans les spectres mesurés. Ces interférences ne sont visibles que pour les domaines spectraux pour lesquels les couches sont transparentes ou faiblement absorbantes. La position et le nombre de ces interférences dépendent de l'indice de réfraction des matériaux qui forment les couches ainsi que de leur épaisseur [Azzam & Baschara , Ellipsometry

and Polarized Light, North Holland, 1987]. Le nombre de ces interférences augmente proportionnellement avec l'épaisseur des couches et inversement avec la longueur d'onde de mesure. Il est par conséquent intéressant d'utiliser des longueurs d'onde les plus grandes possibles. Afin de pouvoir exploiter le phénomène des interférences à des fins métrologiques, il faut pouvoir mesurer plusieurs interférences avec un appareil capable de les résoudre afin d'éviter des phénomènes de « aliasing » ou de sous-échantillonnage. Dans la pratique, les échantillons basés sur de matériaux semi-conducteurs utilisent des couches ou des multicouches dont la somme des épaisseurs dépasse ou bien est de l'ordre du micron. Dans ces conditions, on observe dans le domaine spectral de transparence des couches minces, accessible aux polarimètres de l'état de l'art, des franges trop peu nombreuses ou bien trop serrées pour pouvoir être mesurées correctement. Ceci limite l'utilité de ces appareils et par conséquent représente un inconvénient. Le fait de disposer d'un polarimètre pouvant faire des mesures dans l'infrarouge proche, permet d'augmenter le nombre interférences mesurées aussi bien que d'éviter le phénomène de sous-échantillonnage grâce à l'utilisation de longueurs d'onde plus longues.

La figure 12 représente la matrice de Mueller d'une bicouche de silicium poly-cristallin de 1 micron d'épaisseur et d'une couche amorphe de 100 nm d'épaisseur déposées sur une plaquette de silicium monocristallin de 0,5 mm d'épaisseur. Cette bi-couche est assez représentative car on la trouve dans des empilements utilisés pour la fabrication de transistors en microélectronique. Puisqu'il s'agit d'un échantillon isotrope, la matrice de Mueller présente un certain degré de symétrie. Les éléments de la matrice appartenant aux blocs non-diagonaux sont nuls. Les éléments [1,2] et [2,1] sont égaux, les éléments [3,3] et [4,4] sont égaux et les éléments [3,4] et [4,3] sont égaux en valeur et de signe inversé. Dans le domaine visible allant de 400 à 700 nm on observe une bande avec des interférences très faibles dues au silicium amorphe, dans l'infrarouge proche, de 1000 à 1700 nm quatre interférences témoignent de la présence de la couche de silicium polycristallin, qui est d'ailleurs la plus épaisse. Le polarimètre de l'invention permet ainsi d'accéder à une mesure relative à la couche de silicium polycristallin sur un très large domaine spectral, qui n'était pas accessible en utilisant un polarimètre limité au domaine visible.

La figure 13 représente aussi un système assez commun dans la fabrication de photopiles solaires ou des écrans plats. Il s'agit d'un dépôt de silicium amorphe d'environ 2 microns sur un substrat de verre épais de 0,5 millimètres. Puisque l'échantillon est isotrope, sa matrice de Mueller présente les mêmes symétries que celle représentée dans la figure 12. La résolution des données simulées est de 3 nm, identique à celle des polarimètres de l'art antérieur. Dans le domaine de 500 à 800 nm, apparaissent beaucoup d'interférences, très serrées et pas complètement résolues, mettant en évidence un phénomène de sous-échantillonnage. Par contre dans l'infrarouge proche, par des raisons expliquées précédemment, les interférences se desserrent et elles peuvent être résolues complètement. Dans cette seconde application, la mesure sur un large domaine spectral comprenant l'infrarouge proche est également un avantage majeur face aux limitations des appareils antérieurs sur le domaine visible.

Le polarimètre de l'invention permet d'effectuer à l'aide d'un unique appareil des mesures spectroscopiques couvrant une très large gamme spectrale avec un très bon conditionnement homogène sur toute cette gamme.

Selon l'invention, le PSG génère plus de 4 vecteurs de Stokes différents, et est représenté sous la forme d'une matrice $4 \times m$ où m est un nombre entier supérieur à 4 et le PSA détermine plus de 4 vecteurs de Stokes différents en sortie. La matrice A est représentée sous la forme d'une matrice $n \times 4$ où n est un nombre entier supérieur à 4.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les moyens de modulation de la polarisation aptes à générer les vecteurs de Stokes du PSG et du PSA sont des dispositifs à cristaux liquides. Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, les dispositifs à cristaux liquides sont des cellules à cristaux ferroélectriques, au nombre de 3 dans le PSG et dans le PSA.

Le PSG est ainsi apte à générer 8 états de polarisation et le PSA est apte à déterminer 8 états de polarisation. Le système polarimétrique est alors capable de faire 64 acquisitions. Ces 64 mesures ne sont pas indépendantes mais c'est justement leur redondance qui permet d'améliorer le critère de qualité de la calibration sur un domaine spectral étendu.

Selon le procédé de mesure de l'invention, on ajoute de nouveaux états de polarisation. 64 mesures sont surdéterminées à une longueur d'onde, mais peuvent être nécessaires pour un spectre. On cherche alors les états qui contribuent à améliorer le conditionnement à certaines longueurs d'onde, ce
5 qui ne nuit pas au conditionnement aux autres longueurs d'onde.

Afin de ne pas ralentir excessivement la durée d'acquisition d'un spectre, on peut ensuite retirer par exemple 2 états, dont la contribution à améliorer le conditionnement n'est pas indispensable.

Le polarimètre de l'invention peut être optimisé pour que son
10 fonctionnement soit optimum sur une large gamme spectrale. Le critère d'optimisation consiste à maximiser le conditionnement des matrices qui représentent le PSG et le PSA et à le rendre le plus homogène possible dans le domaine spectral de mesure.

La durée de mesure dépend du nombre d'états de polarisation utilisée.
15 Dans les cas où on utilise une séquence complète de 64 états de polarisation, la durée de mesure est augmentée d'un facteur 4 comparé à une mesure effectuée sur une séquence de 16 états de polarisation, utilisée dans les polarimètres de l'art antérieur. Cependant, la durée de mesure peut n'être augmentée que d'un facteur ~ 2 si on se limite à une séquence réduite de 36
20 états, par rapport à une mesure classique.

Le polarimètre/ellipsomètre spectroscopique de l'invention permet de couvrir un domaine spectral plus étendu que les dispositifs antérieurs par la génération et/ou l'analyse d'un nombre plus important d'états de polarisation.

L'invention concerne également un procédé d'acquisition de mesure
25 pour un polarimètre permettant d'effectuer des mesures spectroscopiques précises sur une large gamme spectrale et dont la précision est homogène sur cette gamme.

REVENDICATIONS

1. Système polarimétrique spectroscopique pour analyser un échantillon (8) comprenant :
 - une partie excitation comprenant :
 - une source de lumière (7) apte à émettre un faisceau lumineux incident (17) sur un domaine de longueur d'onde et,
 - un générateur d'états de polarisation (PSG) (5) comprenant un polariseur linéaire (10) et des moyens de modulation de la polarisation du faisceau lumineux,
 - une partie analyseur comprenant
 - un analyseur d'états de polarisation (PSA) (6) comprenant des moyens de modulation de la polarisation du faisceau lumineux et un polariseur linéaire (10'),
 - des moyens de détection (9) du faisceau lumineux en fonction de la longueur d'onde comprenant une unité de traitement,
- caractérisé en ce que :
 - les moyens de modulation de la polarisation du PSG (5) sont aptes à générer une séquence de m états de polarisation avec $m > 4$ à chaque longueur d'onde de mesure, les moyens de modulation de la polarisation du PSA (6) sont aptes à déterminer une séquence de n états de polarisation avec $n > 4$ à chaque longueur d'onde de mesure, et les moyens de détection sont aptes à acquérir une séquence de N mesures d'intensité lumineuse avec $16 < N \leq n \times m$ à chaque longueur d'onde pour en extraire la matrice de Mueller de l'échantillon (8).
2. Système polarimétrique selon la revendication 1 caractérisé en ce que la partie excitation comprend une plateforme escamotable (21) située entre le PSG (5) et l'échantillon (8) apte à introduire au moins un élément de calibration dans la chaîne optique du système polarimétrique et à retirer ledit élément de calibration une fois la calibration terminée, et la partie analyseur comprend une plateforme escamotable (21') située entre le PSA (6) et l'échantillon (8) apte à introduire au moins un élément de calibration dans la chaîne optique et à retirer ledit élément de calibration une fois la calibration terminée.

3. Système polarimétrique selon l'une des revendications 1 ou 2 caractérisé en ce que les moyens de modulation de la polarisation du PSG sont aptes à générer une séquence de $m = 8$ états de polarisation à chaque longueur d'onde de mesure, les moyens de modulation de la polarisation du PSA sont aptes à déterminer une séquence de $n = 8$ états de polarisation à chaque longueur d'onde de mesure, et les moyens de détection sont aptes à acquérir une séquence de $N = 64$ mesures à chaque longueur d'onde pour en extraire la matrice de Mueller de l'échantillon (8).
4. Système polarimétrique selon l'une des revendications 1 ou 2 caractérisé en ce que les moyens de modulation de la polarisation du PSG sont aptes à générer une séquence de $m = 6$ états de polarisation à chaque longueur d'onde de mesure, les moyens de modulation de la polarisation du PSA sont aptes à déterminer une séquence de $n = 6$ états de polarisation à chaque longueur d'onde de mesure, et les moyens de détection sont aptes à acquérir une séquence de $N = 36$ mesures à chaque longueur d'onde pour en extraire la matrice de Mueller de l'échantillon (8).
5. Système polarimétrique selon l'une des revendications 1 à 4 caractérisé en ce que les moyens de modulation de la polarisation du PSG (5) et du PSA (6) comprennent une pluralité de dispositifs à cristaux liquides (1, 2, 3, 11, 12, 13) et des moyens de commande de tension électrique appliquée à chacun des dispositifs à cristaux liquides (1, 2, 3, 11, 12, 13) aptes à moduler l'orientation et/ou le retard des états de polarisations.
6. Système polarimétrique selon la revendication 5 caractérisé en ce que les moyens de modulation de la polarisation du PSG comprennent trois dispositifs à cristaux liquides ferroélectriques (FLC) (1, 2, 3) aptes à générer une séquence de $m=8$ états de polarisation et en ce que les moyens de modulation de la polarisation du PSA comprennent trois

dispositifs à cristaux liquides ferroélectriques (FLC) (11, 12, 13) aptes à déterminer une séquence de $n=8$ états de polarisation.

- 5 7. Système polarimétrique selon la revendication 6 caractérisé en ce que le générateur d'état de polarisation (5) comprend une lame retard (4) disposée entre deux des dispositifs à cristaux liquides ferroélectriques (1, 2) ou (3, 2), et en ce que l'analyseur d'état de polarisation (6) comprend une lame retard (14) disposée entre deux des dispositifs à cristaux liquides ferroélectriques (11, 12) ou (12, 13).
- 10 8. Système polarimétrique selon la revendication 7 caractérisé en ce que les lames retard (4, 14) sont des bi-prismes achromatiques.
- 15 9. Système polarimétrique selon la revendication 5 caractérisé en ce que les cellules à cristaux liquides (1, 2, 3, 11, 12, 13) sont des cellules à cristaux liquides nématiques et en ce que le système polarimétrique comprend un dispositif électronique de contrôle apte à moduler le retard des cellules à cristaux liquides nématiques (1, 2, 3, 11, 12, 13).
- 20 10. Système polarimétrique selon la revendication 9 caractérisé en ce que les moyens de modulation de la polarisation du PSG respectivement du PSA comprennent trois dispositifs à cristaux liquides nématiques (NLC) (1, 2, 3) respectivement (NLC) (11, 12, 13) et en ce que moyens de commande de tension électrique sont aptes à commuter le retard de

25 chaque dispositif à cristal liquide nématique (1, 2, 3, 11, 12, 13) de manière à générer une séquence de $m=8$ états de polarisation et respectivement déterminer une séquence de $n=8$ états de polarisation.
- 30 11. Système polarimétrique selon la revendication 9 caractérisé en ce que les moyens de modulation de la polarisation du PSG respectivement du PSA comprennent deux dispositifs à cristaux liquides nématiques (NLC) (1, 2) respectivement (NLC) (11, 12) et en ce que moyens de commande de tension électrique sont aptes à moduler le retard d'au moins un dispositif à cristal liquide nématique du PSG (1, 2)

35 respectivement du PSA (11, 12) entre trois valeurs de tension de

manière à générer une séquence de $m=6$ états de polarisation et respectivement déterminer une séquence de $n=6$ états de polarisation.

- 5 12. Système polarimétrique selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que le système polarimétrique est optimisé pour le domaine spectral de 350 nm à 2 μ m.
- 10 13. Système polarimétrique selon l'une des revendications 1 à 12 dans lequel le système polarimétrique est un ellipsomètre.
- 15 14. Système polarimétrique selon l'une des revendications 1 à 12 dans lequel le système polarimétrique est un polarimètre de Mueller pour analyser un échantillon (8) à partir de la séquence de N mesures de l'intensité lumineuse détectée où $16 < N \leq 64$.
- 20 15. Système polarimétrique selon l'une des revendications 1 à 14 caractérisé en ce que les moyens de détection (9) comprennent un détecteur imageur, adapté à l'unité de traitement pour former une image polarimétrique de l'échantillon (8).
- 25 16. Procédé de mesure polarimétrique spectroscopique d'un échantillon (8) comprenant les étapes suivantes :
- éclairage de l'échantillon (8) au moyen d'un faisceau lumineux incident (17) polarisé émis par un générateur d'états de polarisation (5) comprenant un polariseur, ledit PSG modulant l'état de polarisation du faisceau lumineux (17), ledit échantillon (8) transmettant ou réfléchissant le faisceau lumineux modulé en polarisation,
 - 30 - détection de la mesure au moyen d'un détecteur et d'une section détection comprenant un analyseur d'états de polarisation (6) et un polariseur, ledit PSA déterminant l'état de polarisation du faisceau lumineux détecté, et
 - traitement des signaux détectés pour en extraire une mesure polarimétrique de l'échantillon,

caractérisé en ce qu'on module les états de polarisation générés suivant une séquence de $m > 4$ états de polarisation, on détermine les états de polarisation analyses suivant une séquence de $n > 4$ états de polarisation et on effectue une séquence de $N = n \times m$ mesures.

5

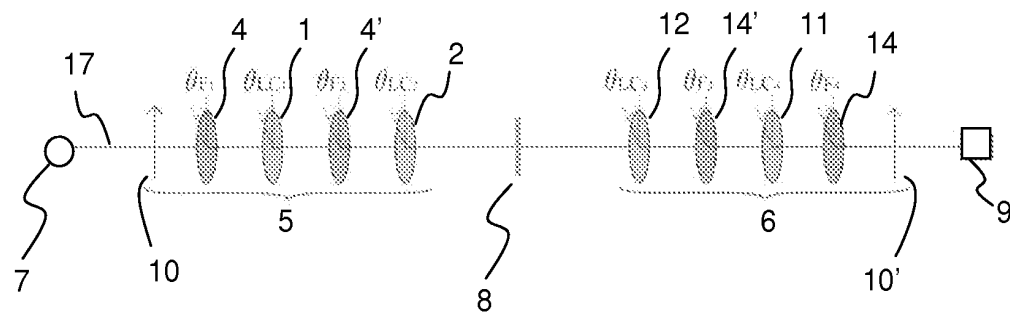
17. Procédé de mesure polarimétrique spectroscopique selon la revendication 16 caractérisé en ce qu'on génère une séquence de 8 états de polarisation, on analyse une séquence de 8 états de polarisation, et on acquiert une séquence de 64 mesures à chaque longueur d'onde.

10

18. Procédé de mesure polarimétrique spectroscopique selon la revendication 16 caractérisé en ce qu'on génère une séquence de 6 états de polarisation, on analyse une séquence de 6 états de polarisation, et on acquiert une séquence de 36 mesures à chaque longueur d'onde.

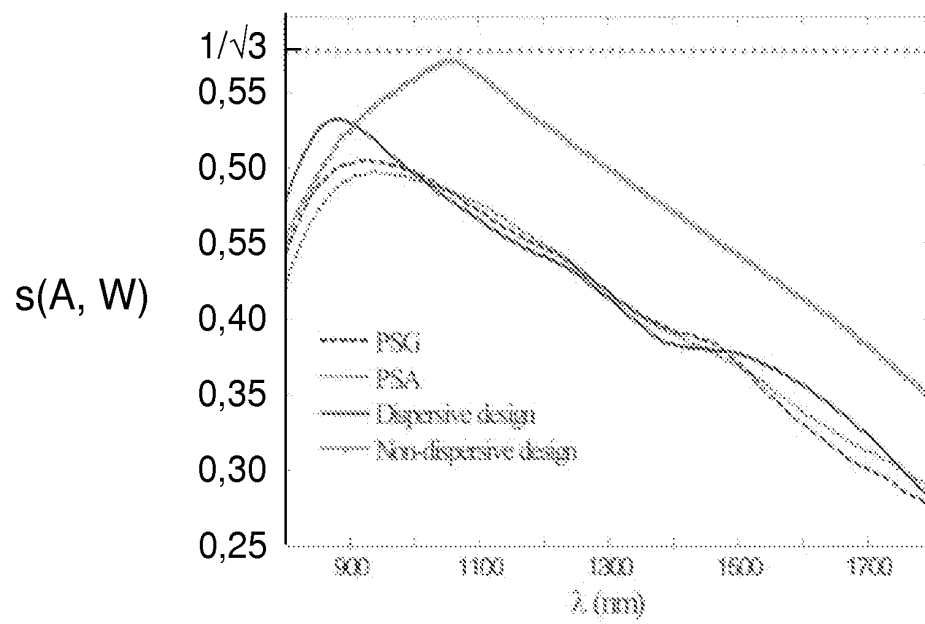
15

1/6



Art ant.

Figure 1



Art ant.

Figure 2

2/6

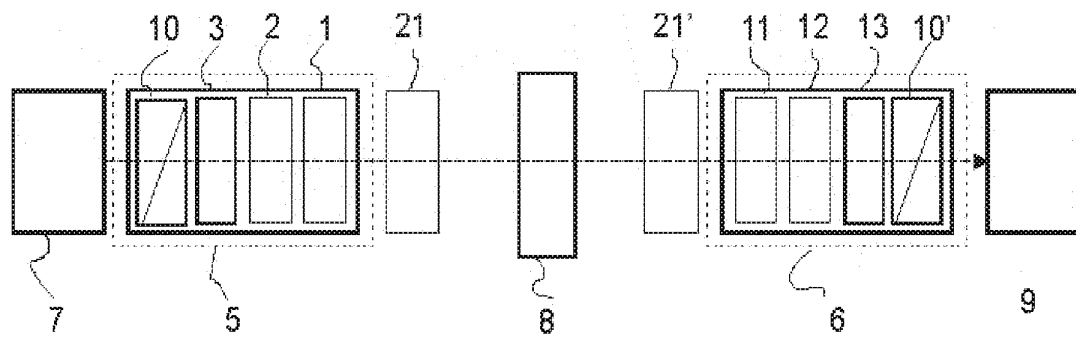


Figure 3

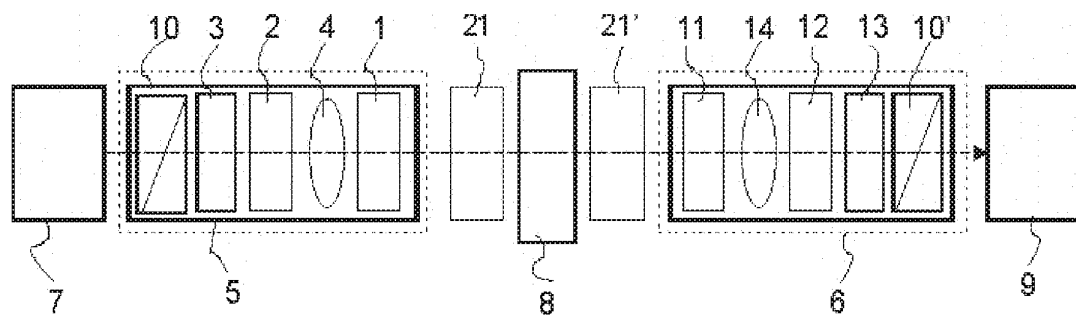


Figure 4

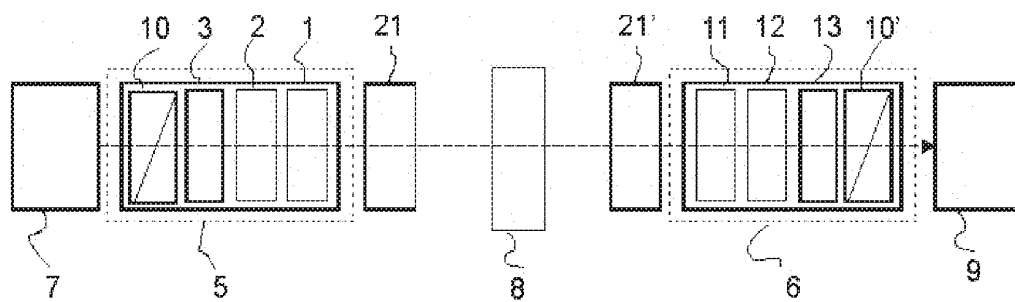


Figure 5

3/6

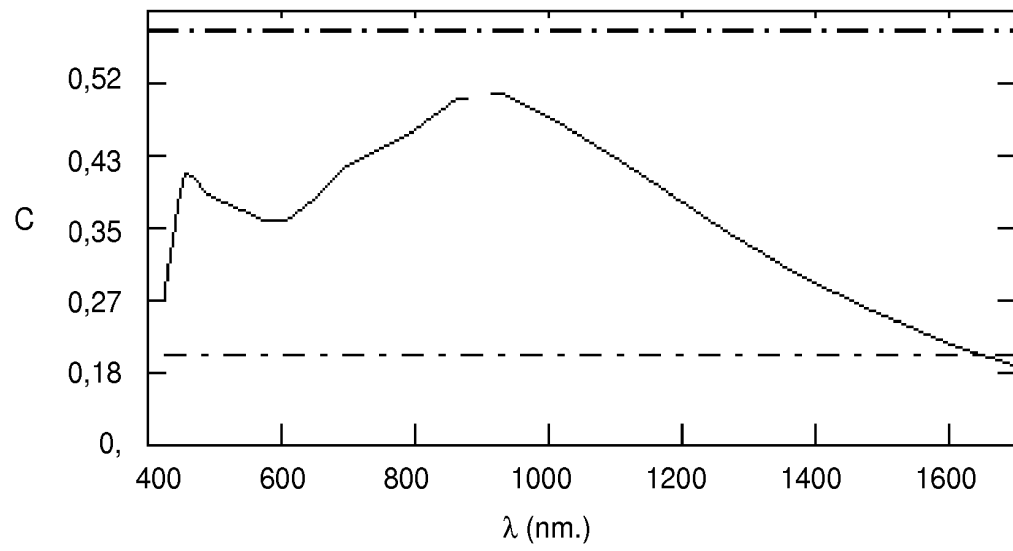


Figure 6

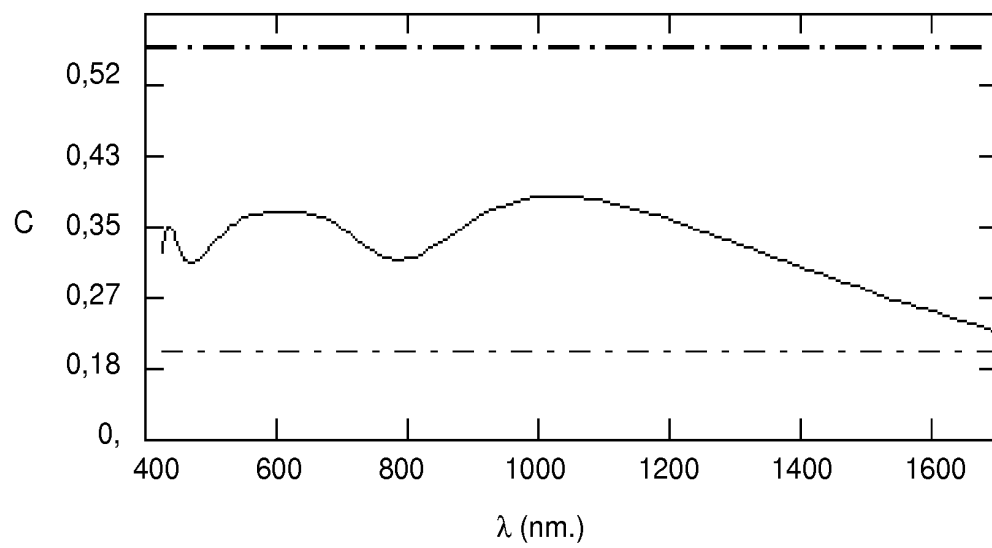


Figure 7

4/6

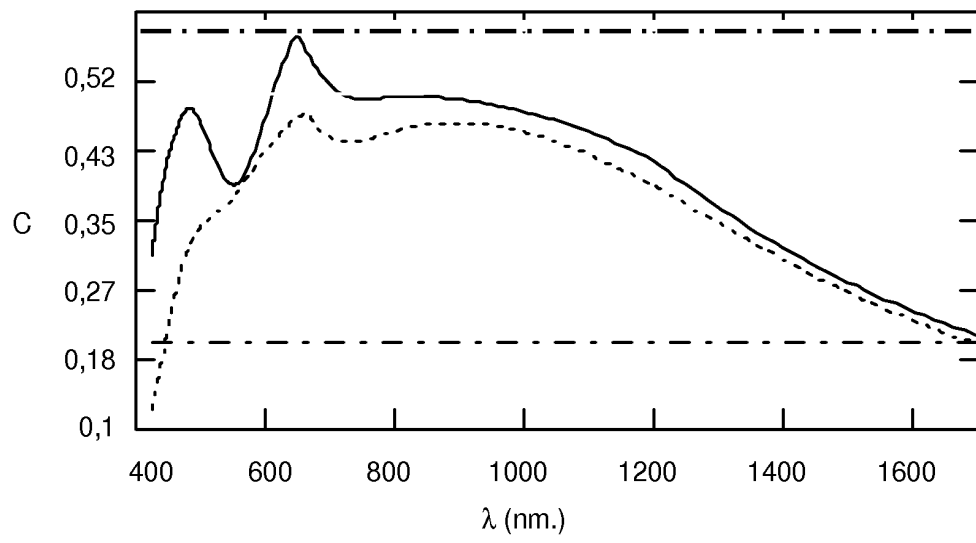


Figure 8

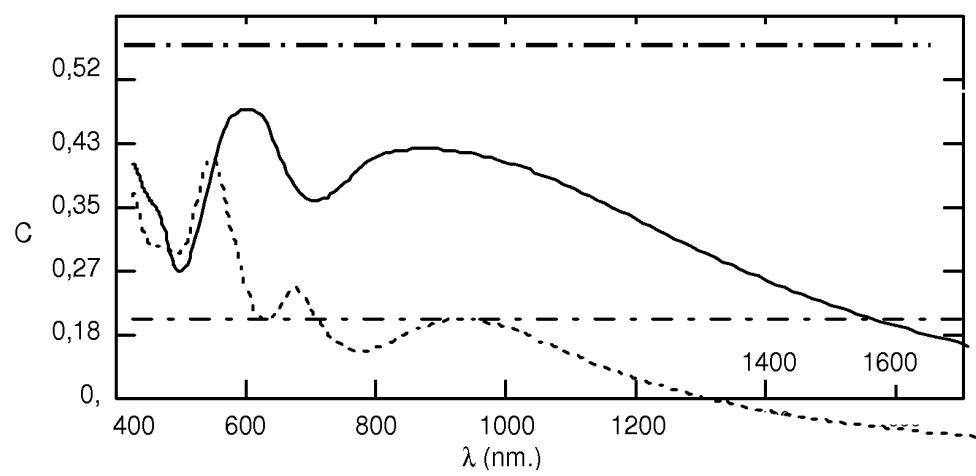


Figure 9

5/6

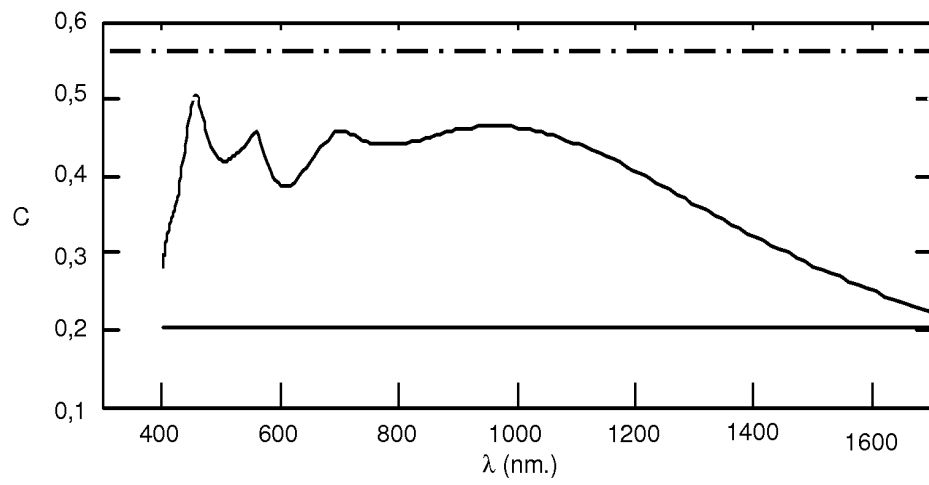


Figure 10

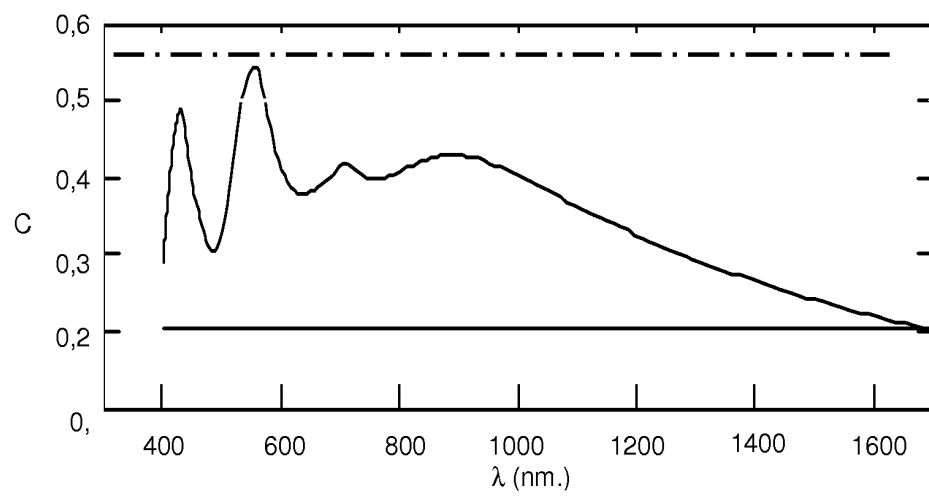


Figure 11

6/6

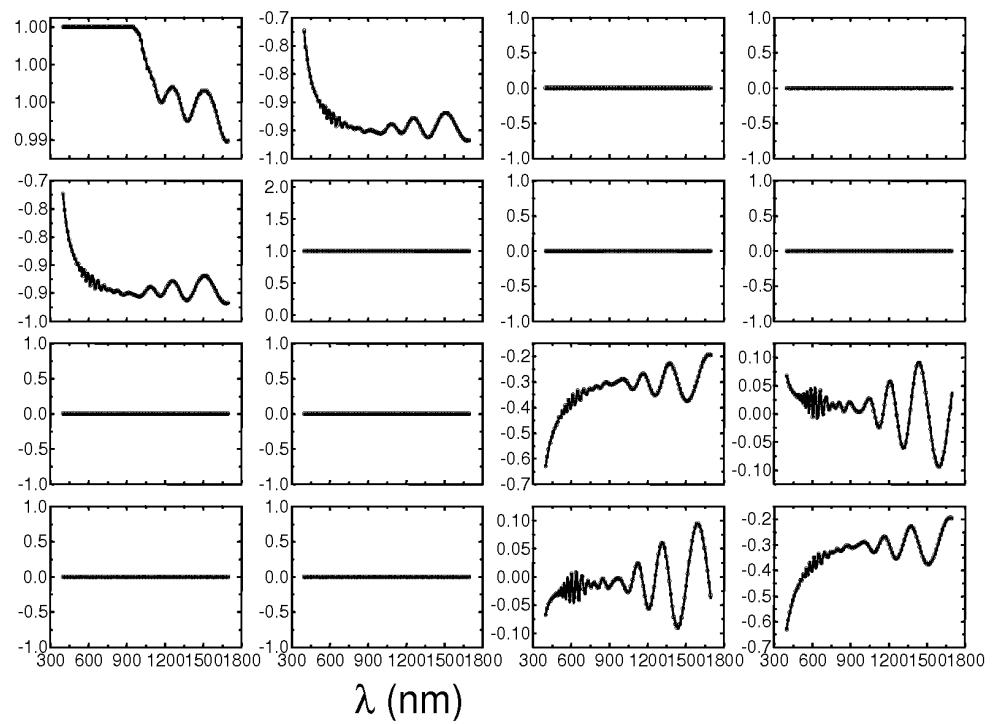


Figure 12

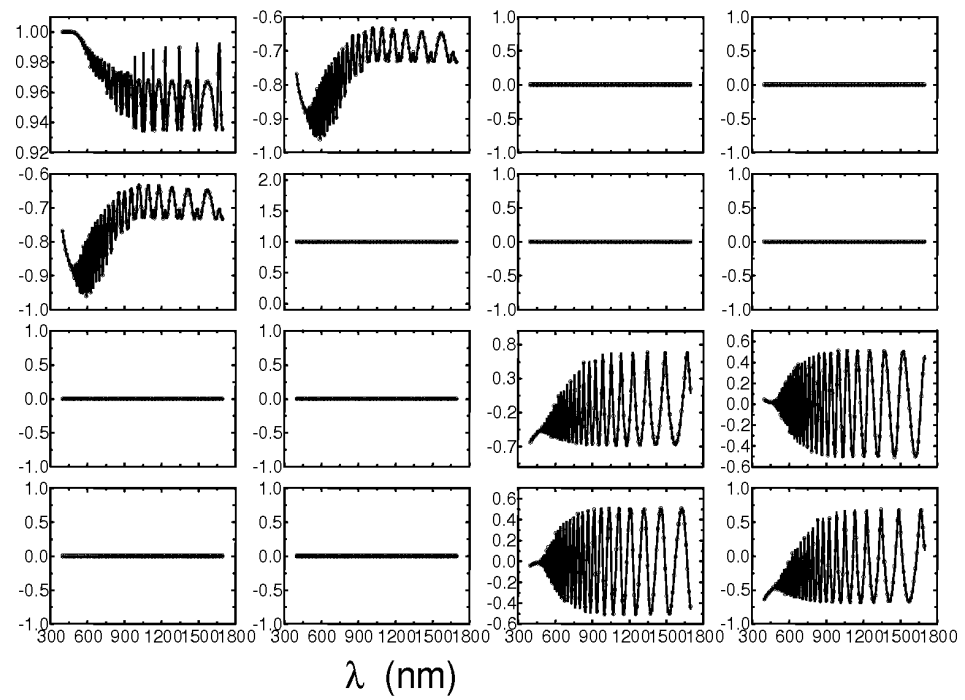


Figure 13



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 713938
FR 0857377

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		
X	US 7 167 241 B1 (JOHS BLAINE D [US] ET AL) 23 janvier 2007 (2007-01-23) * colonne 3, ligne 62 - colonne 4, ligne 3 * * colonne 5, ligne 12 - ligne 33 * * colonne 8, ligne 57 - colonne 9, ligne 9 * * figure 7 *	1-4, 12-15	G01N21/21 G01J4/00
X	US 5 706 212 A (THOMPSON DANIEL W [US] ET AL) 6 janvier 1998 (1998-01-06) * colonne 10, ligne 29 - colonne 11, ligne 33 * * colonne 11, ligne 22 - ligne 30 * * colonne 49, ligne 61 - ligne 67 * * colonne 51, ligne 64 - colonne 52, ligne 4 *	16-18	
A	F.STABO-EEG ET AL: "Design and characterization of achromatic 132° retarders in CAF2 and fused silica" JOURNAL OF MODERN OPTICS, vol. 55, no. 14, 10 août 2008 (2008-08-10) , pages 2203-2214, XP8107343 DOI: 10.1080/09500340802082384 * abrégé * * page 2203, alinéa 1 - page 2205, dernier alinéa *	1-18	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01N
A	WO 2007/071480 A1 (ECOLE POLYTECH [FR]; GARCIA-CAUREL ENRIC [FR]; DE MARTINO ANTONELLO [F]) 28 juin 2007 (2007-06-28) * page 1, ligne 30 - page 2, ligne 3 * * page 2, ligne 24 - ligne 34 * * page 3, ligne 21 - ligne 31 * * page 10, ligne 10 - ligne 13 * * page 10, ligne 21 - ligne 25 * * figure 2 * ----- -/-	1-18	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
19 juin 2009		Verdoodt, Erik	
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			



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 713938
FR 0857377

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		
A	F. STABO-EEG ET AL: "Well-conditioned multiple laser Mueller matrix ellipsometer" OPTICAL ENGINEERING, vol. 47, no. 7, 1 juillet 2008 (2008-07-01), pages 073604-1-073604-9, XP40447767 * abrégé * * pages 073604-1, colonne de droite, dernier alinéa - pages 073604-3, colonne de droite, ligne 1 *	1-18	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A,D	US 2004/130717 A1 (DREVILLON BERNARD [FR] ET AL) 8 juillet 2004 (2004-07-08) * le document en entier *	1-18	
A	LADSTEIN J ET AL: "Characterisation of liquid crystals for broadband optimal design of Mueller matrix ellipsometers" PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING USA, vol. 6587, 4 mai 2007 (2007-05-04), pages 65870D-1, XP002532846 ISSN: 0277-786X * le document en entier *	1-18	
A	DE MARTIONO, A., ET AL: "General methods for optimized design and calibration of Mueller polarimeters" THIN SOLID FILMS, vol. 445-456, 2004, pages 112-119, XP002532847 DOI: 10.1016/j.tsf.2003.12.052 * * ----- -/--	1-18	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
19 juin 2009		Verdoodt, Erik	
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			



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 713938
FR 0857377

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		
A	TYO J S: "Design of optimal polarimeters: maximization of signal-to-noise ratio and minimization of systematic error" APPLIED OPTICS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, vol. 41, no. 4, 1 février 2002 (2002-02-01), pages 619-630, XP002247808 ISSN: 0003-6935	1-18	
A	GARCIA-CAUREL, E., ET AL: "Spectroscopic Mueller polarimeter based on liquid crystal devices" THIN SOLID FILMS, vol. 455-456, 2004, pages 120-123, XP002532848 * *	1-18	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
19 juin 2009		Verdoodt, Erik	
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			

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0857377 FA 713938**

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 **19-06-2009**

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 7167241	B1	23-01-2007	AUCUN	
US 5706212	A	06-01-1998	AUCUN	
WO 2007071480	A1	28-06-2007	EP 1963822 A1	03-09-2008
			US 2007146706 A1	28-06-2007
US 2004130717	A1	08-07-2004	DE 60209672 T2	16-11-2006
			EP 1411333 A1	21-04-2004
			JP 2004271510 A	30-09-2004



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 713938
FR 0857377

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		
X	US 7 167 241 B1 (JOHS BLAINE D [US] ET AL) 23 janvier 2007 (2007-01-23) * colonne 3, ligne 62 - colonne 4, ligne 3 * * colonne 5, ligne 12 - ligne 33 * * colonne 8, ligne 57 - colonne 9, ligne 9 * * figure 7 *	1-4, 12-15	G01N21/21 G01J4/00
X	US 5 706 212 A (THOMPSON DANIEL W [US] ET AL) 6 janvier 1998 (1998-01-06) * colonne 10, ligne 29 - colonne 11, ligne 33 * * colonne 11, ligne 22 - ligne 30 * * colonne 49, ligne 61 - ligne 67 * * colonne 51, ligne 64 - colonne 52, ligne 4 *	16-18	
A	F.STABO-EEG ET AL: "Design and characterization of achromatic 132° retarders in CAF2 and fused silica" JOURNAL OF MODERN OPTICS, vol. 55, no. 14, 10 août 2008 (2008-08-10) , pages 2203-2214, XP8107343 DOI: 10.1080/09500340802082384 * abrégé * * page 2203, alinéa 1 - page 2205, dernier alinéa *	1-18	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) G01N
A	WO 2007/071480 A1 (ECOLE POLYTECH [FR]; GARCIA-CAUREL ENRIC [FR]; DE MARTINO ANTONELLO [F]) 28 juin 2007 (2007-06-28) * page 1, ligne 30 - page 2, ligne 3 * * page 2, ligne 24 - ligne 34 * * page 3, ligne 21 - ligne 31 * * page 10, ligne 10 - ligne 13 * * page 10, ligne 21 - ligne 25 * * figure 2 *	1-18	
----- -/-			
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
19 juin 2009		Verdoodt, Erik	
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			



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 713938
FR 0857377

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		
A	F. STABO-EEG ET AL: "Well-conditioned multiple laser Mueller matrix ellipsometer" OPTICAL ENGINEERING, vol. 47, no. 7, 1 juillet 2008 (2008-07-01), pages 073604-1-073604-9, XP40447767 * abrégé * * pages 073604-1, colonne de droite, dernier alinéa - pages 073604-3, colonne de droite, ligne 1 *	1-18	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A,D	US 2004/130717 A1 (DREVILLON BERNARD [FR] ET AL) 8 juillet 2004 (2004-07-08) * le document en entier *	1-18	
A	LADSTEIN J ET AL: "Characterisation of liquid crystals for broadband optimal design of Mueller matrix ellipsometers" PROCEEDINGS OF THE SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING SPIE - THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR OPTICAL ENGINEERING USA, vol. 6587, 4 mai 2007 (2007-05-04), pages 65870D-1, XP002532846 ISSN: 0277-786X * le document en entier *	1-18	
A	DE MARTIONO, A., ET AL: "General methods for optimized design and calibration of Mueller polarimeters" THIN SOLID FILMS, vol. 445-456, 2004, pages 112-119, XP002532847 DOI: 10.1016/j.tsf.2003.12.052 * * ----- -/--	1-18	
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
19 juin 2009		Verdoodt, Erik	
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			



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

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

N° d'enregistrement
national

FA 713938
FR 0857377

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		
A	TYO J S: "Design of optimal polarimeters: maximization of signal-to-noise ratio and minimization of systematic error" APPLIED OPTICS, OSA, OPTICAL SOCIETY OF AMERICA, WASHINGTON, DC, vol. 41, no. 4, 1 février 2002 (2002-02-01), pages 619-630, XP002247808 ISSN: 0003-6935 -----	1-18	
A	GARCIA-CAUREL, E., ET AL: "Spectroscopic Mueller polarimeter based on liquid crystal devices" THIN SOLID FILMS, vol. 455-456, 2004, pages 120-123, XP002532848 * * -----	1-18	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
19 juin 2009		Verdoodt, Erik	
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			

3

EPO FORM 1503 12.99 (P04C14)

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0857377 FA 713938**

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 **19-06-2009**

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 7167241	B1	23-01-2007	AUCUN	
US 5706212	A	06-01-1998	AUCUN	
WO 2007071480	A1	28-06-2007	EP 1963822 A1	03-09-2008
			US 2007146706 A1	28-06-2007
US 2004130717	A1	08-07-2004	DE 60209672 T2	16-11-2006
			EP 1411333 A1	21-04-2004
			JP 2004271510 A	30-09-2004