

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
27 mars 2008 (27.03.2008)

PCT

(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2008/034962 A2**

(51) Classification internationale des brevets :  
*G01R 31/308* (2006.01) *G01R 1/07* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/FR2007/001446

(22) Date de dépôt international :  
7 septembre 2007 (07.09.2007)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :  
06 08214 20 septembre 2006 (20.09.2006) FR

(71) Déposants (pour tous les États désignés sauf US) :  
UNIVERSITE PARIS SUD [FR/FR]; 15 Rue Georges  
Clémenceau, F-91405 Orsay Cédex (FR). CENTRE

NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
[FR/FR]; 3 rue Michel-Ange, F-75794 Paris Cedex 16  
(FR).

(72) Inventeurs; et

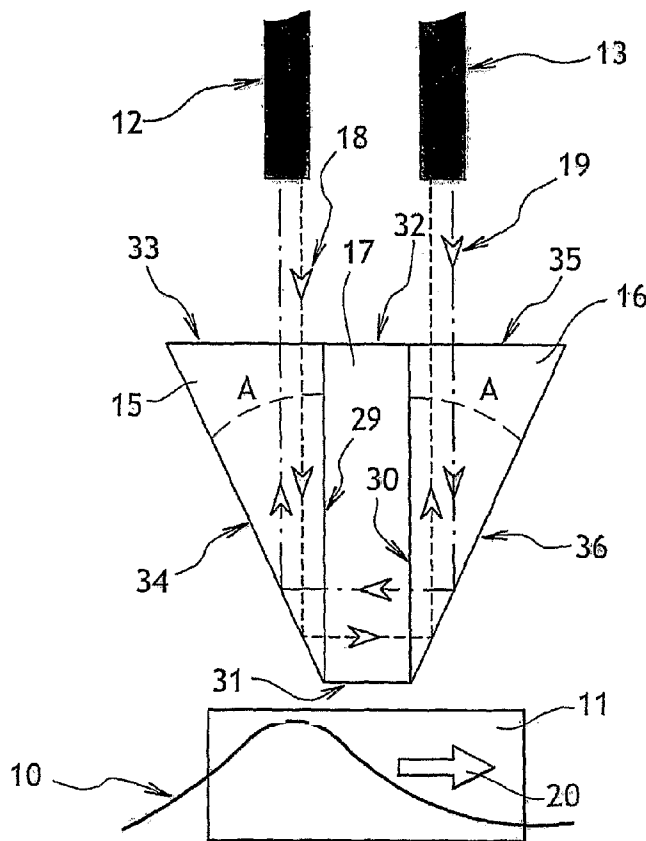
(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **MAN-  
GENEY, Juliette** [FR/FR]; 32 rue Condorcet, F-94230  
Cachan (FR). **CROZAT, Paul** [FR/FR]; Résidence le  
Bois du Roi - Bâtiment 21, F-91940 Les Ulis (FR).  
**MEIGNIEN, Loïc** [FR/FR]; 15 avenue de Gif, F-91940  
Gometz le Chatel (FR). **LOURTIOZ, Jean-Michel**  
[FR/FR]; 14 rue des Fauvettes, F-91400 Orsay (FR).

(74) Mandataires : **PONTET, Bernard** etc.; Pontet Allano &  
Associés Selarl, 25 rue Jean Rostand, Parc Club Orsay Uni-  
versité, F-91893 Orsay Cedex (FR).

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR CHARACTERISING AN ELECTRIC SIGNAL PROPAGATING THROUGH A SAM-  
PLE

(54) Titre : PROCÉDÉ ET DISPOSITIF POUR CARACTÉRISER UN SIGNAL ÉLECTRIQUE SE PROPAGEANT DANS UN  
ÉCHANTILLON



(57) Abstract: The invention relates to a method for char-  
acterising an electric signal (10), that comprises the prop-  
agation of a first light beam (18) through an electro-optical  
medium (17) in a first propagation direction, wherein at  
least one optical property of the medium changes when it  
is submitted to an electrical field, and the propagation of a  
second light beam (19) through the electro-optical medium  
(17) in a second propagation direction different from the  
first direction. For each light beam, a measurement of a  
variation in an optical property of the light beam (18; 19)  
due to the propagation of the beam in the medium (17) is  
used for determining the propagation direction (20) of an  
electric signal (10) submitting the medium to an electrical  
field. The invention also relates to a device for implement-  
ing the method of the present invention, and to an electro-  
optical probe implemented in a device according to the in-  
vention. Applicability: electro-optical sampling of a com-  
ponent, characterisation of electric pulses in guided struc-  
tures.

(57) Abrégé : L'invention concerne procédé pour carac-  
tériser un signal électrique (10), comprenant une propaga-  
tion d'un premier faisceau lumineux (18) à travers un milieu  
électro-optique (17) selon une première direction de propaga-  
tion, au' moins une propriété optique du milieu variant  
lorsqu'il est soumis à un champ électrique, et une propaga-  
tion d'un deuxième faisceau lumineux (19) à travers le  
milieu électro-optique (17) selon une deuxième direction  
de propagation différente de la première direction. Pour  
chacun des faisceaux lumineux, une mesure d'une variation  
d'une propriété optique du faisceau

[Suite sur la page suivante]

WO 2008/034962 A2



- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,

ZW), eurasienn (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Publiée :**

- sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

«Procédé et dispositif pour caractériser un signal électrique se propageant dans un échantillon»

### **Domaine technique**

La présente invention concerne un procédé et un dispositif  
5 d'échantillonnage électro-optique pour caractériser un signal électrique, et notamment pour déterminer la direction de propagation du signal électrique. Elle concerne aussi une sonde électro-optique mise en œuvre dans un dispositif selon l'invention.

Le domaine d'application de l'invention est l'échantillonnage électro-  
10 optique, la mesure et la caractérisation de signaux électriques, notamment d'impulsions électriques ultracourtes se propageant dans des structures guidées.

### **Etat de la technique antérieure**

Des domaines tels que les communications optiques et la  
15 microélectronique nécessitent des composants de plus en plus rapides. Les moyens actuels dans le domaine de la communication sont de 10 gigabits par seconde en mono canal sur les lignes posées. Des débits de 40 gigabits par seconde sont déjà validés en recherche et commencent à être installés, et les perspectives portent sur des débits de 80 gigabits par seconde.

L'utilisation d'outils de mesure conventionnels pour mesurer des  
20 signaux électriques sur des composants électroniques et optoélectroniques est limitée à des fréquences inférieures à 210 gigahertz avec des analyseurs de réseaux et à des fréquences inférieures à 110 gigahertz avec des oscilloscopes, ce qui correspond à une résolution temporelle de quelques  
25 picosecondes.

Pour des fréquences plus élevées, on peut utiliser des outils de  
mesures basés sur de l'échantillonnage électro-optique. Le principe de la  
technique d'échantillonnage électro-optique est largement décrit dans la  
littérature, notamment dans les documents [1] à [4] référencés en dernière  
30 page. Il est basé sur l'effet Pockels, c'est-à-dire sur un changement de propriétés optiques d'un cristal électro-optique sous l'effet d'un champ électrique. Un cristal électro-optique est placé par exemple à proximité d'un échantillon sur lequel se propage un signal électrique. Les indices de réfraction du cristal changent en présence du champ électrique. Un

faisceau lumineux de mesure passant dans le cristal voit sa polarisation changer du fait de la variation d'indice du cristal induite par le champ électrique. Une mesure de cette variation de polarisation permet de déduire la valeur du champ électrique appliqué. Dans un dispositif tel que celui  
5 présenté dans le document [2], le faisceau lumineux de mesure se propage dans le cristal perpendiculairement à la direction de propagation du signal électrique.

Cependant, les dispositifs d'échantillonnage électro-optiques actuels ne permettent pas de déterminer la direction de propagation d'un signal  
10 électrique. De tels dispositifs ont donc le désavantage de ne pas pouvoir faire la distinction entre deux signaux se propageant dans des directions opposées. Ils ne permettent donc pas de faire la distinction entre d'une part un signal électrique d'origine se propageant dans un circuit et d'autre part des signaux échos ou des rebonds parasites du signal d'origine. Ces échos  
15 ou rebonds sont généralement émis suite à un phénomène de désadaptation d'impédance dans le circuit et se propagent généralement dans la direction opposée au signal d'origine. Or, la caractérisation de ces effets parasites est importante, car ces effets perturbent le signal d'origine.

De plus, les dispositifs d'échantillonnage électro-optiques fibrés  
20 actuels sont limités en fréquence.

Le but de l'invention est de proposer un procédé et un dispositif pour caractériser un signal électrique et une sonde électro-optique mise en œuvre dans un dispositif selon l'invention, permettant de déterminer la direction de propagation d'un signal électrique, et pouvant présenter en  
25 outre au moins un des avantages suivants :

- la possibilité de déterminer la présence d'échos parasites et de caractériser ces échos, et
- une résolution temporelle améliorée par rapport à l'état de l'art des systèmes électro-optiques fibrés.

### 30 **Exposé de l'invention**

Cet objectif est atteint avec un procédé pour caractériser un signal électrique, comprenant :

- une propagation d'un premier faisceau lumineux à travers un milieu électro-optique selon une première direction de propagation, au

- moins une propriété optique du milieu variant lorsqu'il est soumis à un champ électrique,
- une propagation d'un deuxième faisceau lumineux à travers le milieu électro-optique selon une deuxième direction de propagation différente de la première direction,
  - pour chacun des faisceaux lumineux, une mesure d'une variation d'une propriété optique du faisceau lumineux due à la propagation du faisceau dans le milieu électro-optique, et
  - une détermination, à partir des mesures, d'une direction de propagation d'un signal électrique soumettant le milieu électro-optique à un champ électrique.

Dans un mode de réalisation, les propagations des deux faisceaux lumineux à travers le milieu électro-optique sont sensiblement simultanées, de sorte que le signal électrique modifie au moins une propriété optique du milieu électro-optique lors des propagations des faisceaux lumineux à travers le milieu électro-optique.

On peut aussi imaginer un autre mode de réalisation pour lequel les propagations des deux faisceaux lumineux à travers le milieu électro-optique sont espacées temporellement. Dans ce cas, le même signal électrique, dont on cherche à déterminer la direction de propagation, se propage deux fois de suite à proximité du milieu électro-optique, de manière à modifier au moins une propriété optique du milieu électro-optique lors de chacune des propagations des faisceaux lumineux à travers le milieu électro-optique.

La détermination de la direction de propagation du signal électrique utilise le fait que la variation d'une propriété optique pour chaque faisceau lumineux dépend de la direction de propagation du faisceau à travers le milieu par rapport à la direction de propagation du signal électrique.

De manière préférentielle, la direction de propagation d'un des faisceaux lumineux est sensiblement colinéaire à la direction de propagation du signal électrique. De cette façon, la direction de propagation d'un des faisceaux lumineux est parallèle à la direction de propagation du signal électrique. La géométrie du problème et la détermination de la direction de propagation du signal électrique est alors simplifiée.

De la même manière, les première et deuxième directions de propagation sont préférentiellement sensiblement opposées. Ainsi, les directions de propagation des faisceaux lumineux sont parallèles. La géométrie du problème et la détermination de la direction de propagation du signal électrique est alors simplifiée. Dans cette variante, les deux faisceaux peuvent se propager dans le milieu selon des trajectoires sensiblement confondues.

Au moins un des faisceaux lumineux peut consister en une impulsion optique. Le procédé selon l'invention peut comprendre en outre une génération des deux faisceaux lumineux par une même impulsion optique. Plus l'impulsion est courte, et plus la résolution temporelle d'une mesure sera faible, c'est à dire bonne (pouvoir de résolution temporelle élevé).

L'une des propriétés du milieu variant lorsqu'il est soumis à un champ électrique peut être par exemple un indice de réfraction du milieu. Les propriétés du milieu variant lorsqu'il est soumis à un champ électrique peuvent par exemple dans le cas d'un cristal biréfringent comprendre plusieurs indices de réfraction. De manière générale, un champ électrique modifie le tenseur de permittivité d'un milieu électro-optique, ce qui peut influencer sur un indice de réfraction du milieu mais également sur d'autres propriétés.

Pour au moins un des faisceaux lumineux, la mesure peut comprendre une mesure d'une variation de la polarisation du faisceau lumineux ou directement une mesure d'une variation d'intensité du faisceau (une variation d'indice pouvant modifier en effet la transmittance du milieu électro-optique ce qui conduit à une variation d'intensité du faisceau transmis). Le procédé selon l'invention peut comprendre en outre une transcription de la variation de polarisation du faisceau lumineux en une variation d'intensité du faisceau lumineux, par exemple au moyen d'un polariseur.

Le procédé selon l'invention peut comprendre en outre une génération du signal électrique se propageant, permettant par exemple un déclenchement de la propagation du signal électrique dans un échantillon tel un circuit imprimé. La génération du signal électrique peut comprendre une transcription d'une impulsion optique de déclenchement en le signal

électrique. Le procédé selon l'invention peut comprendre en outre une  
génération de l'impulsion optique de déclenchement et d'au moins un des  
faisceaux lumineux (de préférence les deux) par une même impulsion  
optique initiale. Le procédé selon l'invention peut aussi comprendre en outre  
5 une variation d'un retard entre la génération du signal électrique et les  
propagations des faisceaux lumineux à travers le milieu électro-optique.

Le signal électrique qui se propage se traduit par une propagation  
d'un champ électrique dans le milieu électro-optique. Le procédé selon  
l'invention peut en outre comprendre une détermination d'une valeur du  
10 signal électrique ou du champ électrique. Pendant sa propagation, le champ  
électrique fait varier au moins une propriété optique du milieu. Lorsque les  
faisceaux lumineux se propagent dans le milieu, la variation de la propriété  
optique du milieu peut faire varier une propriété optique du premier et du  
deuxième faisceau lumineux. Ainsi, le premier et deuxième faisceau  
15 lumineux interagissent avec le signal électrique par l'intermédiaire du milieu  
électro-optique. Le temps d'interaction d'un des faisceaux avec le champ ou  
le signal électrique dépend notamment de l'angle (ou de la différence) entre  
la direction de propagation dudit faisceau et la direction de propagation du  
signal électrique. La mesure de la variation de la propriété optique d'un des  
20 faisceaux (typiquement la polarisation) permet de déterminer la valeur du  
signal ou du champ au moment où le faisceau interagit avec le signal par  
l'intermédiaire du milieu. Le procédé selon l'invention peut comprendre en  
outre une détermination d'un profil temporel du signal ou du champ  
électrique. La détermination du profil temporel peut être réalisé par  
25 exemple par des propagations successives du premier ou deuxième faisceau  
à travers le milieu, sous la forme d'une pluralité d'impulsions optiques.  
Chaque impulsion optique interagit avec une partie différente du signal  
électrique, et permet ainsi de déterminer différentes valeurs du signal ou du  
champ électrique au cours du temps.

30 Le procédé selon l'invention peut comprendre en outre une  
caractérisation d'échos parasites et/ou de rebonds du signal électrique. La  
caractérisation d'un écho (ou d'un rebond) peut comprendre la  
détermination de la valeur du champ électrique de l'écho, la détermination  
d'un profil temporel de l'écho, la détermination du délai entre l'écho et le

signal électrique à l'origine de l'écho, ou la détermination de la direction de propagation de l'écho.

Suivant encore un autre aspect de l'invention, il est proposé un dispositif pour caractériser un signal électrique, comprenant :

- 5       - des moyens pour qu'un premier faisceau lumineux se propage à travers un milieu électro-optique selon une première direction de propagation, au moins une propriété optique du milieu variant lorsqu'il est soumis à un champ électrique,
- 10       - des moyens pour qu'un deuxième faisceau lumineux se propage à travers le milieu électro-optique selon une deuxième direction de propagation différente de la première direction,
- pour chacun des faisceaux lumineux, des moyens pour mesurer une variation d'une propriété optique du faisceau lumineux due à la propagation du faisceau dans le milieu électro-optique, et
- 15       - des moyens pour déterminer, à partir des mesures de variation, une direction de propagation d'un signal électrique soumettant le milieu électro-optique à un champ électrique.

20       Le dispositif peut être agencé pour que les première et deuxième directions de propagation des faisceaux lumineux soient sensiblement opposées.

      Le dispositif peut être agencé pour que les deux faisceaux lumineux aient des trajectoires de propagation dans le milieu sensiblement confondues.

25       Le dispositif peut être agencé pour que la direction de propagation d'un des faisceaux lumineux soit sensiblement colinéaire à la direction de propagation du signal électrique.

      Le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre des moyens pour générer le premier et le deuxième faisceau lumineux à partir d'une même impulsion optique. Ces moyens permettent de limiter un éventuel  
30       décalage temporel entre les deux faisceaux.

      Pour au moins un des faisceaux lumineux, les moyens de mesure peuvent comprendre des moyens pour mesurer une variation de la polarisation du faisceau lumineux, ou des moyens pour mesurer une variation d'intensité du faisceau. Le dispositif selon l'invention peut

comprendre en outre des moyens pour transcrire une variation de polarisation du faisceau lumineux en une variation d'intensité du faisceau lumineux.

5 Le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre des moyens pour déterminer une valeur du signal ou du champ électrique, et/ou des moyens pour déterminer un profil temporel du signal électrique ou du champ électrique induit.

10 Le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre des moyens pour caractériser des échos parasites et/ou des rebonds du signal électrique.

Le milieu électro-optique peut comprendre un cristal électro-optique, de préférence un cristal de Tantalate de Lithium ( $\text{LiTaO}_3$ ), de Telluride de Zinc ( $\text{ZnTe}$ ) ou de (diéthylamino)sulfur trifluoride (DAST).

15 L'indice de réfraction du milieu électro-optique à une fréquence optique d'au moins un des faisceaux lumineux peut être sensiblement égale à l'indice de réfraction du milieu électro-optique à une fréquence du signal électrique.

20 Le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre des moyens pour générer le signal électrique se propageant, par exemple afin d'exciter un échantillon tel un circuit imprimé. Les moyens de génération du signal électrique peuvent comprendre des moyens pour transcrire une impulsion optique de déclenchement en le signal électrique. Le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre des moyens pour générer l'impulsion optique de déclenchement et au moins un des faisceaux lumineux à partir  
25 d'une même impulsion optique initiale. Le dispositif selon l'invention peut comprendre en outre des moyens pour varier un retard entre la génération du signal électrique se propageant et les propagations des faisceaux lumineux à travers le milieu.

30 Le signal électrique peut se propager dans un échantillon à caractériser tel un circuit imprimé.

Enfin, le milieu électro-optique peut faire partie d'une sonde électro-optique prévue pour être placée à proximité d'un échantillon devant être caractérisé et dans lequel se propage le signal électrique.

Suivant encore un autre aspect de l'invention, il est proposé une sonde électro-optique mise en œuvre dans un dispositif selon l'invention, caractérisée en ce qu'elle comprend :

- 5 - un milieu électro-optique dont au moins une propriété optique varie lorsqu'il est soumis à un champ électrique,
- des moyens pour collecter un premier et un deuxième faisceau lumineux ayant sensiblement une même direction de propagation vers la sonde électro-optique, et
- 10 - des moyens pour que le premier faisceau lumineux et le deuxième faisceau lumineux se propagent à travers le milieu électro-optique selon des directions de propagation différentes.

La sonde électro-optique peut être agencée pour que les directions de propagation des faisceaux lumineux à travers le milieu soient sensiblement opposées.

- 15 La sonde électro-optique peut être agencée pour que les deux faisceaux aient des trajectoires de propagation à travers le milieu sensiblement confondues.

La sonde électro-optique peut comprendre deux prismes situés respectivement le long d'une première et deuxième face latérale du milieu électro-optique, les prismes étant disposés sensiblement symétriquement par rapport à un plan passant à travers le milieu.

Le milieu électro-optique peut avoir sensiblement la forme d'un parallépipède rectangle, comprendre deux faces dites supérieure et inférieure opposées et sensiblement perpendiculaires aux faces latérales, la face inférieure étant prévue pour être placée à proximité d'un échantillon dans lequel se propage un signal électrique, et chaque prisme peut comprendre :

- une première face le long d'une des faces latérales,
- une deuxième face prévue pour collecter le premier ou deuxième faisceau lumineux, et formant avec ladite une des faces latérales et du côté de la face supérieure un angle sensiblement droit,
- 30 - une troisième face formant avec ladite une des faces latérales et du côté de la face inférieure un angle aigu, la troisième face étant agencée pour réfléchir le premier ou le deuxième faisceau de la deuxième face vers le

milieu électro-optique ou inversement. La sonde électro-optique peut être agencée pour que la direction de propagation d'un des faisceaux lumineux à travers le milieu soit sensiblement parallèle à la face inférieure du milieu.

### **Description des figures et modes de réalisation**

5 D'autres avantages et particularités de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée de mises en œuvre et de modes de réalisation nullement limitatifs, et des dessins annexés suivants :

- la figure 1 illustre schématiquement un mode de réalisation préférentiel d'un dispositif selon l'invention,
- 10 - la figure 2 est une vue agrandie d'une sonde électro-optique du dispositif de la figure 1, et
- la figure 3 illustre deux signaux mesurés par un dispositif selon l'invention.

On va décrire, en référence aux figures 1 à 3, un mode de réalisation préférentiel du dispositif selon l'invention, mettant en œuvre un procédé  
15 selon l'invention.

Le dispositif comprend des moyens 1, 5 pour émettre un premier et un deuxième faisceau lumineux 18, 19. Une sonde électro-optique 14 comprenant un cristal électro-optique 17 est agencée pour collecter les  
20 faisceaux émis et les faire se propager à travers le cristal 17 selon deux directions de propagation différentes. La sonde électro-optique est prévue pour être située à proximité d'un échantillon 11 tel un circuit intégré, dans lequel se propage un signal électrique 10. Des moyens 24-27 pour réaliser des mesures sur les faisceaux ayant traversés le cristal permettent de  
25 déterminer la direction de propagation 20 du signal électrique dans le circuit.

De manière générale, le signal électrique se propage le long d'une ligne 39 du circuit intégré 11 à caractériser. La détermination de la direction de propagation 20 du signal électrique consiste donc en une détermination  
30 du sens de propagation du signal électrique le long de la ligne 39.

Le principe général de l'invention est le suivant. Le signal électrique 10 qui se propage dans le circuit 11 induit une propagation d'un champ électrique dans le milieu électro-optique 17. Pendant sa propagation, le champ électrique fait varier au moins une propriété optique du milieu 17

telle que son indice de réfraction. Lorsque les faisceaux lumineux 18, 19 se propagent dans le milieu 17, la variation de la propriété optique du milieu fait varier une propriété optique du premier 18 et/ou du deuxième 19 faisceau lumineux, notamment leur polarisation. Le temps d'interaction d'un  
5 des faisceaux avec le champ électrique dépend notamment de l'angle entre la direction de propagation dudit faisceau et la direction de propagation du signal électrique. Les directions de propagation des faisceaux dans le milieu sont différentes, de sorte que les temps d'interaction de chaque faisceau avec le champ électrique sont différents. La variation de la propriété optique  
10 du premier faisceau au cours du temps est donc différente de celle du deuxième faisceau. La différence entre ces variations permet de déterminer la direction de propagation 20 du signal électrique 10.

Les moyens pour émettre les premiers et deuxième faisceaux lumineux comprennent une source laser 1, reliée via une fibre optique 2 à  
15 un premier coupleur optique 6. La dispersion introduite par les fibres optiques est gérée : on peut par exemple utiliser des fibres optiques pour lesquelles la dispersion est faible aux longueurs d'onde et aux puissances véhiculées, ou des moyens de compensation des phénomènes de dispersion (comme des fibres à dispersion négative). Le laser 1 délivre des impulsions  
20 optiques d'une durée de 200 femtosecondes, de longueur d'onde 1550 nanomètres et avec un taux de répétition de 14 mégahertz. Le coupleur 6 sépare chaque impulsion en une impulsion optique de déclenchement sur une première voie et une impulsion optique d'analyse sur une deuxième voie.

25 Dans la première voie, l'impulsion optique de déclenchement est transportée le long d'une fibre optique 7 dont l'extrémité orientée vers le circuit 11 est munie d'une lentille 8, puis est convertie par un convertisseur optique-électrique 9 en un signal électrique (typiquement une impulsion électrique gaussienne). L'impulsion optique focalisée par la lentille 8 sur le  
30 convertisseur 9 permet donc de déclencher une propagation du signal électrique 10 dans une partie 39 du circuit intégré 11. Les moyens pour réaliser cette conversion comprennent un photoconducteur rapide agencé pour que le signal électrique soit le plus court possible. Le photoconducteur a de manière préférentielle été irradié avec des ions de la couche semi-

conductrice active du circuit intégré, de sorte qu'il soit le plus rapide possible et que le signal électrique soit le plus court possible. En effet, plus le signal électrique 10 est court, et plus on peut caractériser la réponse du circuit 11 à une haute fréquence.

5 Dans la deuxième voie, l'impulsion optique d'analyse est dirigée via des fibres optiques 3, 4 jusqu'à un deuxième coupleur 5, puis est séparée par le coupleur 5 en une première et une deuxième impulsion optique correspondant respectivement au premier et deuxième faisceau lumineux. La première impulsion optique 18 est dirigée jusqu'au cristal 17 via un  
10 premier circulateur fibré 22 et une première fibre optique 12 flexible couplée optiquement à la sonde électro-optique 14. De même, la deuxième impulsion optique 19 est dirigée jusqu'au cristal 17 via un deuxième circulateur fibré 23 et une deuxième fibre optique 13 flexible couplée optiquement à la sonde électro-optique 14. Les impulsions optiques 18, 19  
15 étant générées simultanément par une même impulsion laser, elles se propagent quasi simultanément à l'intérieur du cristal électro-optique de la sonde 14.

La sonde électro-optique 14 consiste en une tête prismatique comprenant le cristal électro-optique 17 placé entre un premier 15 et un  
20 deuxième 16 prisme. L'assemblage des prismes peut se faire par une méthode telle qu'un collage par adhésion moléculaire ou à l'aide d'une colle optique. Dans le cas de la colle optique, la colle utilisée a un indice sensiblement identique à celui du cristal électro-optique. Le cristal consiste de manière préférentielle en un cristal de ZnTe. Les prismes sont formés  
25 dans un matériau classiquement utilisé en optique, tel un verre de type BK7. Le cristal électro-optique a sensiblement la forme d'un parallélépipède rectangle. Les deux prismes sont situés respectivement contre une première 29 et une deuxième 30 face latérale du cristal. Ces deux faces latérales sont opposées, de sorte que la sonde possède un plan de symétrie passant dans  
30 le cristal et entre les deux prismes. Le cristal possède en outre une face dite supérieure 32 orientée vers les fibres flexibles 12, 13, et une face inférieure 31 prévue pour être placée à proximité d'une partie 39 du circuit intégré 11. Les faces inférieure 31 et supérieure 32 sont opposées et sensiblement perpendiculaires aux deux faces latérales 29, 30.

Chaque prisme possède en outre :

- une première face le long d'une des faces latérales 29 ou 30,  
- une deuxième face 33 ou 35 prévue pour collecter le premier 18 ou  
deuxième 19 faisceau lumineux, et formant avec ladite une des faces  
5 latérales 29 ou 30 et du côté de la face supérieure 32 un angle  
sensiblement droit,

- une troisième face 34 ou 36 formant avec ladite une des faces  
latérales 29 ou 30 et du côté de la face inférieure 31 un angle aigu A, ladite  
troisième face étant agencée pour réfléchir le premier 18 ou le deuxième 19  
10 faisceau de la deuxième face 33 ou 35 vers le milieu électro-optique 17 ou  
inversement.

La deuxième face des deux prismes sont orientées vers les fibres 12,  
13, et sont toutes deux sensiblement perpendiculaires aux directions de  
propagation des faisceaux 18, 19 vers la sonde électro-optique 14. Un  
15 traitement anti reflet a été déposé sur la deuxième face 33, 35 de chaque  
prisme.

En sortie des fibres 12, 13, les impulsions optiques 18, 19 se  
propagent toutes deux sensiblement perpendiculairement au plan des faces  
32, 33, 35 du cristal et des prismes. La première impulsion optique 18 sort  
20 de la première fibre 12, est collectée par la deuxième face 33 du premier  
prisme 15, est réfléchiée vers le cristal 17 par la troisième face oblique 34 du  
premier prisme 15, pénètre dans le cristal par la première face latérale 29  
du cristal, traverse le cristal, ressort du cristal par la deuxième face latérale  
30 du cristal, est réfléchiée vers la deuxième face 35 du deuxième prisme 16  
25 par la troisième face oblique 36 du deuxième prisme 16, et pénètre à  
l'intérieure de la deuxième fibre 13.

La deuxième impulsion optique 19 suit le parcours inverse. Elle sort  
donc de la deuxième fibre 13, traverse le cristal de la deuxième face  
latérale 30 à la première face latérale 29, et pénètre dans la première fibre  
30 12.

Ainsi, les prismes redirigent les impulsions 18, 19 qui ont  
sensiblement une même direction de propagation avant de pénétrer dans la  
sonde électro-optique, de sorte que les impulsions 18, 19 se propagent à  
travers le cristal dans des directions opposées.

L'angle A est inférieur ou égal à  $47^\circ$ , de sorte que la réflexion des impulsions 18, 19 sur les faces obliques 34, 36 soient totales. Typiquement, les impulsions 18, 19 traversent le cristal sur une largeur d'une centaine de micromètres, et traversent chaque prisme sur une largeur d'environ 200  
5 micromètres et sur une hauteur d'environ deux millimètres.

Sur la figure 2, les trajectoires des impulsions 18, 19 sont représentées espacées pour une meilleure clarté de la figure. En réalité, les trajectoires des impulsions 18, 19 sont de préférence sensiblement confondues.

10 Les fibres 12, 13 et la sonde électro-optique sont agencées pour que les impulsions 18, 19 se propagent le plus près possible et sensiblement parallèlement au plan de la face inférieure 31 du cristal 17. Une platine de translation 21 à trois axes permet de déplacer de façon solidaire les extrémités distales (c'est-à-dire orientées vers le circuit 11) des fibres 12,  
15 13 par lesquels sortent les impulsions 18, 19, et la sonde électro-optique 14. La platine 21 permet ainsi de positionner la face inférieure 31 à proximité d'une partie 39 du circuit 11, de sorte que le signal électrique 10, généré par la même impulsion laser que les impulsions 18, 19, se propage sous la face 31 de la sonde électro-optique 14 en même temps que les  
20 impulsions 18, 19 traversent le cristal, et de sorte que le signal électrique 10 ait une direction de propagation sensiblement colinéaire à la direction de propagation d'une des impulsions optiques 18.

En se propageant dans le circuit 11 situé à proximité de la sonde électro-optique, le signal électrique soumet le cristal à un champ électrique.  
25 Les indices de réfraction du cristal varient, et la polarisation de chacune des première et deuxième impulsions 18, 19 varie durant leur traversée du cristal 17.

Après avoir traversé le cristal 17, la première impulsion 18 pénètre à l'intérieur de la deuxième fibre 13 par son extrémité distale. Le deuxième circulateur fibré 23 dirige la première impulsion 18 vers une photodiode 27  
30 précédée par un système polarisant 25. De même, après avoir traversé le cristal 17, la deuxième impulsion 19 pénètre à l'intérieur de la première fibre 12 par son extrémité distale. Le premier circulateur fibré 22 dirige l'impulsion 19 vers une photodiode 26 précédée par un système polarisant

24. Le système polarisant 25, 24 permet de transcrire la variation de polarisation respectivement de la première ou de la deuxième impulsion 18 ou 19 en une variation d'intensité lumineuse, mesurée respectivement par la photodiode 27 ou 26.

5 Les photodiodes 26, 27 permettent donc de faire deux mesures simultanées : dans une première mesure, l'impulsion optique 18 se propageant à travers le cristal et le signal électrique se propageant à proximité de la face inférieure 31 du cristal ont une même direction de propagation; et dans une deuxième mesure, l'impulsion optique 19 se  
10 propageant à travers le cristal et le signal électrique se propageant à proximité de la face inférieure 31 du cristal ont des directions de propagation opposées.

Le signal électrique 10 qui se propage induit une propagation d'un champ électrique dans le cristal électro-optique 17. Pendant sa propagation,  
15 le champ électrique fait varier les indices de réfraction du cristal 17. Lorsque les faisceaux lumineux 18, 19 se propagent dans le milieu, la variation d'indice de réfraction fait varier les polarisations du premier et du deuxième faisceau lumineux. Ainsi, le premier 18 et deuxième 19 faisceau lumineux interagissent avec le signal électrique par l'intermédiaire du cristal  
20 électro-optique 17. Le temps d'interaction d'un des faisceaux avec le champ ou le signal électrique dépend notamment de l'angle entre la direction de propagation dudit faisceau et la direction de propagation du signal électrique. La variation de la polarisation d'un des faisceaux et donc le signal d'intensité au cours du temps mesuré sur le faisceau dépendent de ce  
25 temps d'interaction et donc de la direction de propagation du faisceau. De plus, la mesure de la variation de la polarisation est proportionnelle à la valeur du signal ou du champ au moment où le faisceau interagit avec le signal par l'intermédiaire du milieu.

Les signaux mesurés S en fonction du temps t sont illustrés sur la  
30 figure 3 pour les deux mesures. De manière préférentielle, les photodiodes 26, 27 sont positionnées le plus près possible du cristal 17 pour limiter le bruit sur les signaux mesurés. L'utilisation de détections synchrones permet en outre de réduire ce bruit.

Pour la première mesure, le signal mesuré par la photodiode 27 est non distordu. Pour la deuxième mesure, le signal mesuré 28 par la photodiode 26 est élargi temporellement à cause des vecteurs de propagation de l'impulsion optique 19 et de le signal électrique 10 contra-propagatifs. Une unité électronique de traitement et d'analyse des mesures permet de déterminer la direction de propagation du signal électrique 10. La comparaison des deux mesures permet donc de déterminer l'information de la direction de propagation 20 du signal électrique 10 : le signal électrique se propage dans la même direction que l'impulsion optique pour laquelle la variation de polarisation mesurée est la plus importante et la moins élargie temporellement. La valeur du signal 10 et du champ électrique est celle mesurée par la photodiode 27 sur impulsion optique 18 se propageant dans la même direction que le signal électrique 10.

La détermination de la direction de propagation utilise le fait que le résultat d'une mesure est différent si le signal électrique 10 et le faisceau lumineux 18 ou 19 se propagent dans la même direction ou sont contra-propagatifs. Dans une configuration telle que celle d'un dispositif selon le document [2], le résultat de la mesure est insensible à la direction de propagation du signal électrique puisque le faisceau lumineux de mesure et le signal électrique sont perpendiculaires.

Le dispositif selon l'invention comprend en outre une ligne à retard fibrée 28, permettant de faire varier un retard entre la génération du signal électrique 10 se propageant et les propagations des impulsions optiques 18, 19 à travers le cristal. Une variation de ce retard permet par exemple, avec l'aide de l'unité de traitement et d'analyse:

- de déterminer le profil temporel du signal électrique 10,
- d'échantillonner la réponse du circuit 11 à tester et de déterminer ainsi la réponse électrique temporelle du circuit, ou
- de caractériser des échos parasites ou des rebonds du signal électrique dus, par exemple, à des phénomènes de désadaptation d'impédance dans le circuit 11.

La caractérisation d'un écho (ou d'un rebond) comprend typiquement la détermination de la valeur du champ électrique de l'écho, la détermination d'un profil temporel de l'écho, la détermination du délai entre l'écho et le

signal électrique 10 à l'origine de l'écho, ou encore la détermination de la direction de propagation de l'écho. La détermination de la direction de propagation de l'écho est réalisée de la même manière que la détermination de la direction de propagation du signal électrique 10, au moyen des deux signaux lumineux 18, 19.

De manière préférentielle, le cristal 17 est choisi de sorte que son indice de réfraction soit sensiblement le même à la fréquence optique du faisceau 18 traversant le cristal (correspondant à la longueur d'onde du faisceau 18) et à une fréquence du signal électrique 10 (typiquement la transformée de fourrier du signal électrique, de l'ordre du térahertz). Ainsi, l'impulsion 18 se propage dans le cristal avec sensiblement la même vitesse de propagation que le champ électrique qui est induit dans le cristal par la propagation du signal électrique. Ainsi, la résolution temporelle et la bande passante du dispositif selon l'invention ne dépendent sensiblement que de la durée de l'impulsion optique 18. Un dispositif selon l'invention peut typiquement avoir une bande passante supérieure à 300 gigahertz, et une résolution temporelle de l'ordre de quelques femtosecondes.

Dans une configuration telle que celle d'un dispositif selon le document [2], l'impulsion optique se propageant à travers le cristal et le signal électrique sont perpendiculaires. Le signal électrique induit un champ électrique se propageant dans le cristal. Durant toute la traversée longitudinale de l'impulsion optique, le champ électrique qui se propage latéralement dans le cristal est moyenné. La résolution temporelle d'une telle configuration est donc limitée par le temps d'interaction entre l'impulsion optique et le champ électrique présent dans le cristal, et est typiquement de 2,2 ps pour une épaisseur de cristal de 100 micromètres. Cela équivaut à une bande passante de 220 gigahertz.

Bien sûr, l'invention n'est pas limitée aux exemples qui viennent d'être décrits et de nombreux aménagements peuvent être apportés à ces exemples sans sortir du cadre de l'invention.

On peut imaginer une variante du mode de réalisation décrit, dans laquelle les mesures de variation d'une propriété optique ne sont pas réalisées simultanément pour les deux faisceaux lumineux. Des moyens pour qu'un même signal électrique se propage plusieurs fois de suite

peuvent permettre de réaliser à deux instants différents une première et une deuxième mesure de variation d'une propriété optique respectivement du premier ou du deuxième faisceau lumineux.

De plus, les directions de propagations des premier et deuxième  
5 faisceaux lumineux à travers le milieu électro-optique ne sont pas  
nécessairement toutes deux parallèles à la direction de propagation du  
signal électrique, mais peuvent se propager dans des directions différentes  
à celle du signal électrique. On peut par exemple imaginer une configuration  
dans laquelle un des faisceaux lumineux a seulement une première  
10 composante de propagation colinéaire à la direction de propagation du  
signal électrique (une deuxième composante de propagation de ce faisceau  
étant sensiblement perpendiculaire à la direction de propagation du signal),  
et dans laquelle l'autre faisceau lumineux a seulement une composante de  
propagation opposée à ladite première composante (une autre composante  
15 de propagation de ce faisceau étant sensiblement perpendiculaire à la  
direction de propagation du signal). Dans ce cas, les temps d'interaction des  
deux faisceaux avec le champ électrique induit par le signal électrique sont  
différents. Les variations de polarisations du premier et du deuxième  
faisceaux sont différents, ce qui permet de déterminer la direction de  
20 propagation du signal électrique.

Enfin, un dispositif ou un procédé selon l'invention n'est pas limité à  
la caractérisation d'un signal électrique se propageant dans un échantillon  
situé à proximité d'un milieu électro-optique à travers lequel se propage les  
premier et deuxième faisceaux lumineux, mais peut aussi être appliqué  
25 pour caractériser et déterminer le sens de propagation d'un signal  
électrique se propageant directement dans le milieu électro-optique.

### **Références**

Document [1]: demande de brevet US 2002/0 017 913 A1

Document [2]: « A 210-GHz Bandwidth Electrooptic Sampler for Large  
30 Signal Characterization of InP-Based Components », IEEE Photonics  
Technology Letters, vol. 17, no.12, Décembre 2005

Document [3]: « Subpicosecond Electrooptic Sampling : Principles and  
Applications », IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. QE-22, no. 1,  
janvier 1986

Document [4]: brevet US 4 681 449

## REVENDEICATIONS

- 1.** Procédé pour caractériser un signal électrique (10), comprenant :
- 5 - une propagation d'un premier faisceau lumineux (18) à travers un milieu électro-optique (17) selon une première direction de propagation, au moins une propriété optique du milieu variant lorsqu'il est soumis à un champ électrique, le procédé étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
- 10 - une propagation d'un deuxième faisceau lumineux (19) à travers le milieu électro-optique selon une deuxième direction de propagation différente de la première direction,
- pour chacun des faisceaux lumineux, une mesure d'une variation d'une propriété optique du faisceau lumineux (18 ; 19) due à sa
- 15 propagation dans le milieu électro-optique (17), et
- une détermination, à partir des mesures, d'une direction de propagation (20) du signal électrique (10) soumettant le milieu électro-optique (17) à un champ électrique.
- 20 **2.** Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les propagations des deux faisceaux lumineux à travers le milieu électro-optique sont sensiblement simultanées, de sorte que le signal électrique modifie au moins une propriété optique du milieu électro-optique lors des propagations des faisceaux lumineux à travers le milieu électro-optique.
- 25 **3.** Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que les propagations des deux faisceaux lumineux à travers le milieu électro-optique sont espacées temporellement, le signal électrique se propageant deux fois de suite de manière à modifier au moins une propriété optique du milieu
- 30 électro-optique lors de chacune des propagations des faisceaux lumineux à travers le milieu électro-optique.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que les première et deuxième directions de propagation sont sensiblement opposées.
- 5 5. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que les deux faisceaux se propagent dans le milieu selon des trajectoires sensiblement confondues.
- 10 6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la direction de propagation d'un des faisceaux lumineux (18) est sensiblement colinéaire à la direction de propagation (20) du signal électrique (10).
- 15 7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'au moins un des faisceaux lumineux (18 ; 19) consiste en une impulsion optique.
- 20 8. Procédé selon la revendication 7, caractérisé en ce qu'il comprend une génération des deux faisceaux lumineux (18 ; 19) par une même impulsion optique.
- 25 9. Procédé selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les propriétés du milieu (17) variant lorsqu'il est soumis à un champ électrique comprennent au moins un indice de réfraction du milieu.
- 30 10. Procédé selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce que, pour au moins un des faisceaux lumineux (18 ; 19), la mesure comprend une mesure d'une variation de la polarisation du faisceau lumineux ou une mesure d'une variation d'intensité du faisceau.
11. Procédé selon la revendication 10, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une transcription de la variation de polarisation du faisceau lumineux en une variation d'intensité du faisceau lumineux.

12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce qu'il comprend en outre une génération du signal électrique se propageant (10).
13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que la génération  
5 du signal électrique comprend une transcription d'une impulsion optique de déclenchement en le signal électrique (10).
- ~~14. Procédé selon la revendication 13, caractérisé en ce qu'il comprend en~~  
outre une génération de l'impulsion optique de déclenchement et d'au  
10 moins un des faisceaux lumineux par une même impulsion optique initiale.
15. Procédé selon l'une des revendications 12 à 14, caractérisé en ce qu'il  
comprend en outre une variation d'un retard entre la génération du signal  
électrique et les propagations des faisceaux lumineux à travers le milieu  
15 électro-optique.
16. Procédé selon l'une des revendications 1 à 15, caractérisé en ce qu'il  
comprend en outre une détermination d'un profil temporel du signal  
électrique.  
20
17. Procédé selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisé en ce qu'il  
comprend en outre une caractérisation d'échos parasites et/ou de rebonds  
du signal électrique.
- 25 **18.** Dispositif pour caractériser un signal électrique, comprenant :
- des moyens (1, 5, 15, 33, 34) pour qu'un premier faisceau lumineux se propage à travers un milieu électro-optique (17) selon une première direction de propagation, au moins une propriété optique du milieu (17) variant lorsqu'il est soumis à un champ électrique,
- 30 le dispositif étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
- des moyens (1, 5, 16, 35, 36) pour qu'un deuxième faisceau lumineux se propage à travers le milieu électro-optique (17) selon une deuxième direction de propagation différente de la première direction,

- pour chacun des faisceaux lumineux, des moyens pour mesurer (25, 27 ; 24, 26) une variation d'une propriété optique du faisceau lumineux (18 ; 19) due à sa propagation dans le milieu électro-optique (17), et
- 5 - des moyens pour déterminer, à partir des mesures de variation, une direction de propagation (20) du signal électrique (10) soumettant le milieu à un champ électrique.

10 **19.** Dispositif selon la revendication 18, caractérisé en ce qu'il est agencé pour que les première et deuxième directions de propagation soient sensiblement opposées.

15 **20.** Dispositif selon la revendication 19, caractérisé en ce qu'il est agencé pour que les deux faisceaux aient des trajectoires de propagation dans le milieu sensiblement confondues.

20 **21.** Dispositif selon l'une des revendications 18 à 20, caractérisé en ce qu'il est agencé pour que la direction de propagation d'un des faisceaux lumineux (18) soit sensiblement colinéaire à la direction de propagation (20) du signal électrique (10).

25 **22.** Dispositif selon l'une des revendications 18 à 21, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens (1, 5) pour générer le premier (18) et le deuxième (19) faisceau lumineux à partir d'une même impulsion optique.

30 **23.** Dispositif selon l'une des revendications 18 à 22, caractérisé en ce que, pour au moins un des faisceaux lumineux, les moyens de mesure comprennent des moyens (24, 26 ; 25, 27) pour mesurer une variation de la polarisation du faisceau lumineux (19 ; 18) ou des moyens pour mesurer une variation d'intensité du faisceau.

**24.** Dispositif selon la revendication 23, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens (24 ; 25) pour transcrire une variation de polarisation du

faisceau lumineux (19 ; 18) en une variation d'intensité du faisceau lumineux.

5 **25.** Dispositif selon l'une des revendications 18 à 24, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens (28) pour déterminer un profil temporel du signal électrique.

10 **26.** Dispositif selon l'une des revendications 18 à 25, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens (28) pour caractériser des échos parasites ou des rebonds du signal électrique.

**27.** Dispositif selon l'une des revendications 18 à 26, caractérisé en ce que le milieu électro-optique comprend un cristal électro-optique, de préférence un cristal de Tantalate de Lithium ( $\text{LiTaO}_3$ ), de Telluride de Zinc ( $\text{ZnTe}$ ) ou de (diéthylamino)sulfur trifluoride (DAST).

20 **28.** Dispositif selon l'une des revendications 18 à 27, caractérisé en ce que l'indice de réfraction du milieu électro-optique a une fréquence optique  $\alpha$  au moins un des faisceaux lumineux est sensiblement égale à l'indice de réfraction du milieu électro-optique à une fréquence du signal électrique.

**29.** Dispositif selon l'une des revendications 18 à 28, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens (1, 2, 6, 7, 8, 9) pour générer le signal électrique se propageant.

25 **30.** Dispositif selon la revendication 29, caractérisé en ce que les moyens de génération du signal électrique comprennent des moyens (9) pour transcrire une impulsion optique de déclenchement en le signal électrique.

30 **31.** Dispositif selon la revendication 30, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens (1, 2, 6) pour générer l'impulsion optique de déclenchement et au moins un des faisceaux lumineux (18 ; 19) à partir d'une même impulsion optique initiale.

**32.** Dispositif selon l'une des revendications 29 à 31, caractérisé en ce qu'il comprend en outre des moyens (28) pour varier un retard entre la génération du signal électrique se propageant et les propagations des faisceaux lumineux (18, 19) à travers le milieu (17).

5

**33.** Dispositif selon l'une des revendications 18 à 32, caractérisé en ce que le signal électrique se propage dans un échantillon à caractériser.

**34.** Dispositif selon l'une des revendications 18 à 33, caractérisé en ce que le milieu électro-optique (17) fait partie d'une sonde électro-optique (14) prévue pour être placée à proximité d'un échantillon (11) dans lequel se propage le signal électrique (10).

**35.** Dispositif selon la revendication 34, caractérisé en ce que la sonde électro-optique (14) comprend :

- le milieu électro-optique (17) dont au moins une propriété optique varie lorsqu'il est soumis à un champ électrique,
- des moyens (15, 16) pour collecter le premier et le deuxième faisceau lumineux ayant sensiblement une même direction de propagation vers la sonde électro-optique, et
- les moyens (15, 16) pour que le premier faisceau lumineux et le deuxième faisceau lumineux se propagent à travers le milieu électro-optique selon des directions de propagation différentes.

**36.** Dispositif selon la revendication 34 ou 35, caractérisé en ce que la sonde électro-optique (14) comprend deux prismes (15, 16) situés respectivement le long d'une première (29) et deuxième (30) face latérale du milieu électro-optique (17), les prismes étant disposés sensiblement symétriquement par rapport à un plan passant à travers le milieu électro-optique (17).

30

**37.** Dispositif selon la revendication 36, caractérisé en ce que le milieu électro-optique (17) a sensiblement la forme d'un parallépipède rectangle, en ce qu'il comprend deux faces dites supérieure (32) et inférieure (31)

opposées et sensiblement perpendiculaires aux faces latérales (29, 30), la face inférieure (31) étant prévue pour être placée à proximité de l'échantillon (11) dans lequel se propage le signal électrique, et en ce que chaque prisme comprend :

- 5 - une première face le long d'une des faces latérales (29 ; 30),
- une deuxième face (33 ; 35) prévue pour collecter le premier (18) ou deuxième (19) faisceau lumineux, et formant avec ladite une des faces latérales (29 ; 30) et du côté de la face supérieure (32) un angle sensiblement droit,
- 10 - une troisième face (34 ; 36) formant avec ladite une des faces latérales (29 ; 30) et du côté de la face inférieure (31) un angle aigu, ladite troisième face étant agencée pour réfléchir le premier (18) ou le deuxième (19) faisceau de la deuxième face (33 ; 35) vers le milieu électro-optique (17) ou inversement.

15

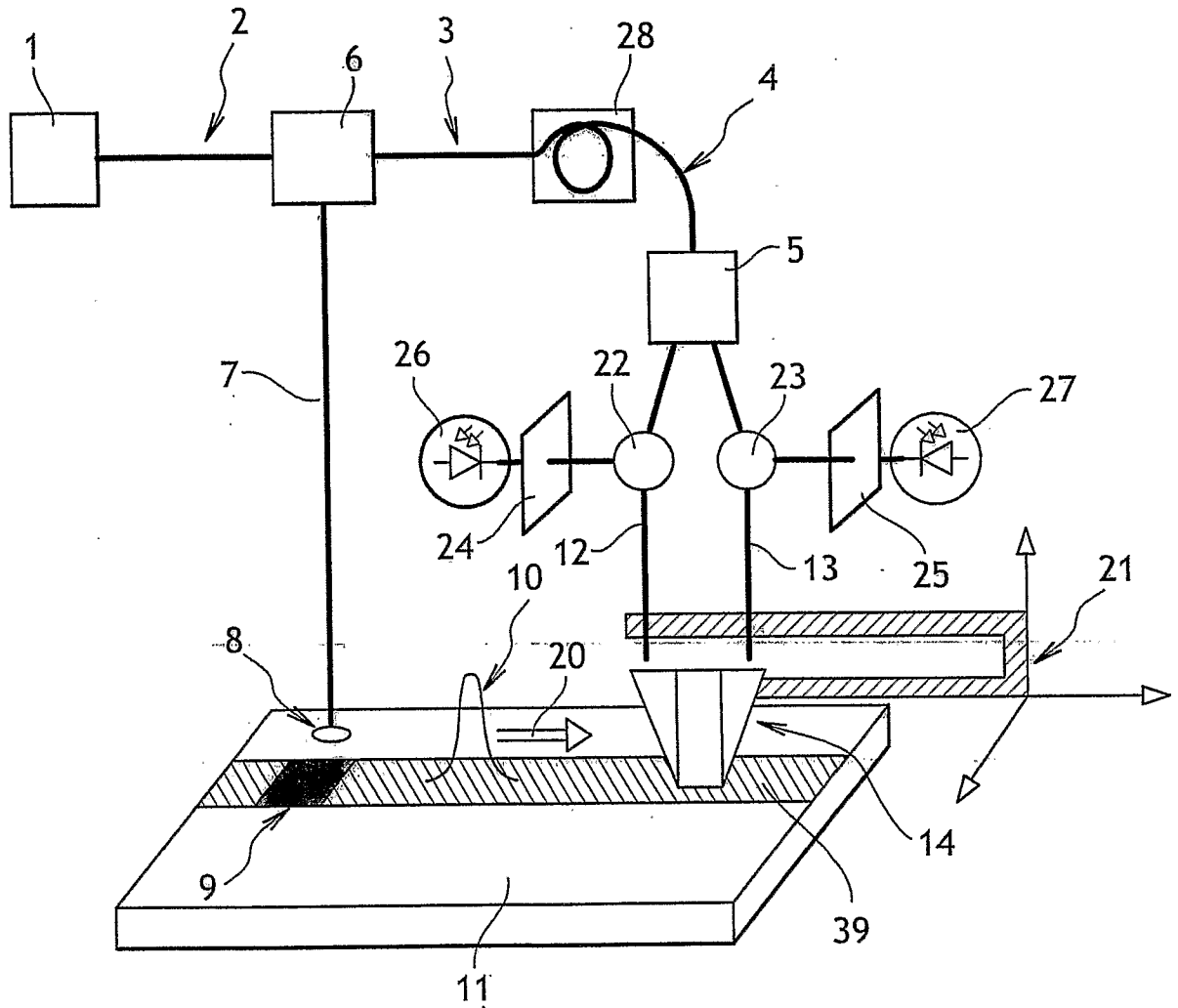


FIG.1

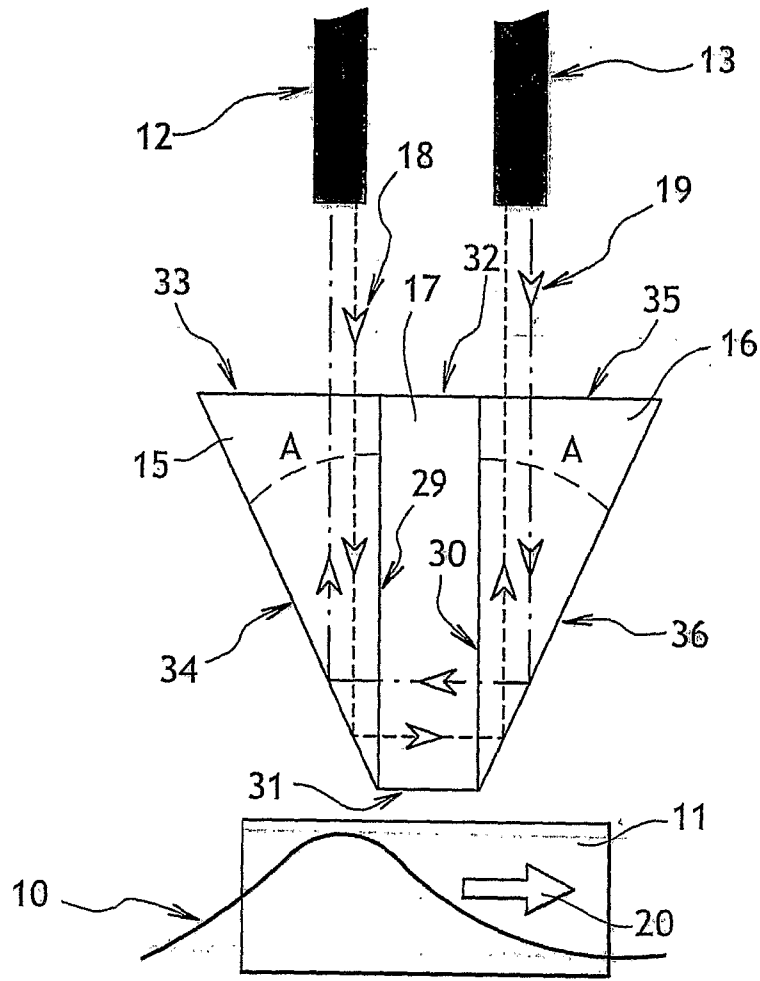


FIG.2

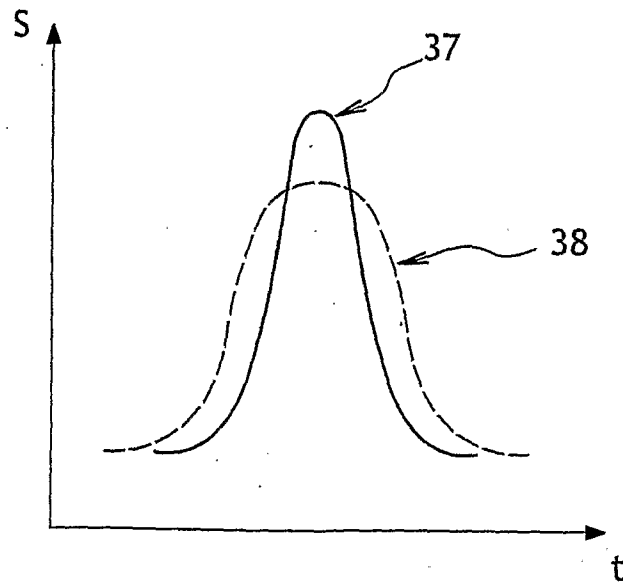


FIG.3