



- (51) Classification internationale des brevets :  
G04F 5/14 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :  
PCT/CH2010/000214
- (22) Date de dépôt international :  
1 septembre 2010 (01.09.2010)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :  
09405149.7 4 septembre 2009 (04.09.2009) EP  
703/10 7 mai 2010 (07.05.2010) CH
- (71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : CSEM  
CENTRE SUISSE D'ELECTRONIQUE ET DE  
MICROTECHNIQUE S.A. [CH/CH]; Recherche et  
Développement, 1 rue Jaquet-Droz, CH-2002 Neuchâtel  
(CH).
- (72) Inventeurs; et
- (75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) :  
LECOMPTE, Steve [CH/CH]; Chemin de Carabot 29A,  
CH-1233 Bernex (CH). HAESLER, Jacques [CH/CH];  
Engelhardtstrasse 72, CH-3280 Murten (CH).
- (74) Mandataires : SAVOYE, Jean-Paul et al.; Moinas &  
Savoie S.A., 42, rue Plantamour, CH-1201 Genève (CH).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre  
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,  
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,  
CA, CH, CL, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD,  
SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR,  
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Suite sur la page suivante]

- (54) Title : DEVICE FOR AN ATOMIC CLOCK  
(54) Titre : DISPOSITIF POUR HORLOGE ATOMIQUE

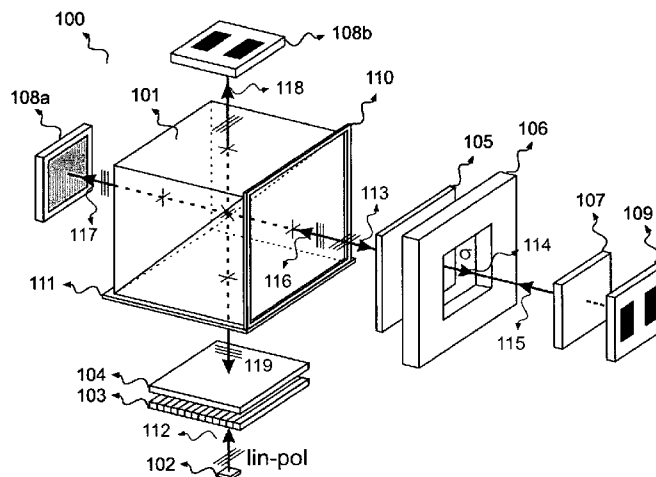


Fig. 3

(57) Abstract : The invention relates to a device for an atomic clock, including: a laser source (102) that generates a laser beam; a splitter (101) that makes it possible to divert and allow a portion of the laser beam to pass therethrough in accordance with a predefined percentage; a quarter-wave plate (105) that modifies the linear polarization of the laser beam into circular polarization and vice versa; a gas cell arranged on the circular polarization laser beam; a mirror (107) sending the laser beam back toward the gas cell (106); and a first photodetector (108a). The splitter (101) is arranged between the laser source (102) and the mirror (107), the quarter-wave plate (105) is arranged between the splitter (101) and the mirror (107), the gas cell (106) is arranged between the quarter-wave plate (105) and the mirror (107) such that the polarization of the beam emitted by the laser source (102) via the splitter (101) and incident on the quarter-wave plate (105) is linear along the first angle and modified by the quarter-wave plate (105) into circular polarization, and the circular polarization of the beam reflected by the mirror (107) and passing through the gas cell (106) a second time is modified into linear polarization along the second angle by the quarter-wave plate (105), the splitter (101) routing a portion of the retroreflected beam to the first photodetector (108a). The device also comprises a polarizer (103) arranged between the laser beam outlet and the splitter in order to protect the laser source from the retroreflections emitted by different optical elements constituting the device.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2011/026251 A1



(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues (règle 48.2.h)

---

Ce dispositif pour horloge atomique comprend une source laser (102) générant un faisceau laser, un séparateur (101) permettant de dévier et de laisser passer une partie du faisceau laser selon un pourcentage prédéfini, une lame quart d'onde (105) modifiant la polarisation linéaire du faisceau laser en une polarisation circulaire et inversement, une cellule à gaz placée sur le faisceau laser de polarisation circulaire, un miroir (107) renvoyant le faisceau laser vers la cellule à gaz (106), et un premier photodétecteur (108a), le séparateur (101) étant placé entre la source laser (102) et le miroir (107), la lame quart d'onde (105) étant placée entre le séparateur (101) et le miroir (107), la cellule à gaz (106) étant placée entre la lame quart d'onde (105) et le miroir (107) de telle sorte que la polarisation du faisceau provenant de la source laser (102) via le séparateur (101) et arrivant sur la lame quart d'onde (105) est linéaire selon le premier angle et est modifiée par la lame quart d'onde (105) en polarisation circulaire, et ainsi que la polarisation circulaire du faisceau réfléchi par le miroir (107) et traversant une seconde fois la cellule à gaz (106) est modifiée en polarisation linéaire selon le second angle par la lame quart d'onde (105), le séparateur (101) acheminant une partie du faisceau rétro-réfléchi vers le premier photodétecteur (108a). Le dispositif comporte de plus un polariseur (103) placé entre la sortie du faisceau laser et le séparateur afin de protéger la source laser des rétro-réflexions provenant des différents éléments optiques composant le dispositif.

## Dispositif pour horloge atomique

### Introduction

La présente invention concerne le domaine des horloges atomiques.

### 5        **Etat de l'Art**

Les horloges atomiques miniatures (volume d'un  $\text{cm}^3$  ou inférieur), à basse consommation électrique (inférieure au Watt) et qui permettent des applications portables sont des dispositifs rendus possibles par la combinaison des principes physiques CPT (piégeage cohérent de population) ou Raman avec  
10 une architecture d'horloge atomique basée sur une cellule d'absorption à gaz. Ces deux principes physiques ne nécessitent pas de cavité microonde pour interroger les atomes de référence (typiquement Rubidium ou Césium) et éliminent ainsi  
15 la contrainte de volume associée aux horloges atomiques traditionnelles de type cellule. La partie physique de l'horloge, qui est constituée de la source lumineuse, des éléments optiques, de la cellule à gaz, du photodétecteur et de toutes les fonctions telles que chauffage et génération de champ magnétique, va faire l'objet des considérations qui suivent.  
20 L'implémentation de technologies telles que les lasers de type semi-conducteur à émission de surface et cavité verticale (vertical cavity surface-emitting laser, VCSEL), les techniques de microfabrication pour les cellules à gaz et d'encapsulation sous vide ont permis de réduire massivement le volume  
25 et la consommation électrique de ces horloges atomiques. Les lasers VCSEL offrent la possibilité de combiner la fonction de pompage optique et l'interrogation microonde des atomes de référence. Ce type de laser offre les avantages suivants :  
30 modulation du courant d'injection possible jusqu'à plusieurs gigahertz, basse consommation, longueur d'onde compatible avec les atomes standards de référence (Rubidium ou Césium), excel-

lente durée de vie, fonctionnement à haute température, bas coût et puissance optique idéalement adaptée. Les technologies de microstructuration du silicium couplées aux procédés de collage/soudage d'un substrat en verre (typiquement pyrex ou quartz) sur un substrat en silicium permettent de réaliser des  
5 cellules à gaz de dimensions beaucoup plus petites que ce qu'il est possible de réaliser avec la technique traditionnelle de soufflage et formage de tube en verre. La réduction des dimensions de la cellule à gaz est également accompagnée  
10 par une diminution de la consommation nécessaire pour chauffer la cellule à gaz.

Différents arrangements de la partie physique d'une telle horloge ont été réalisés. La majorité des arrangements sont basés sur un passage unique du faisceau laser au travers de la  
15 cellule (voir S. Knappe, MEMS atomic clocks, Book chapter in Comprehensive Microsystems, vol. 3, p. 571 (2008), Ed. Elsevier), d'autres tirent profit de cellules à gaz comportant des miroirs à l'intérieur de la cellule ou encore permettant un double passage du faisceau laser au travers de la cellule  
20 (voir documents US7064835 et EP0550240). Les arrangements avec double passage de la lumière au travers de la cellule ont l'avantage de doubler la longueur optique effective de la cellule et donc d'améliorer les performances de l'horloge atomique (en termes de consommation électrique et/ou de  
25 stabilité de fréquence). Néanmoins, ces arrangements double passage n'ont pas été implémentés pour des raisons d'instabilité du dispositif et en particulier à cause de perturbations du laser provoquées par la lumière rétro-réfléchie par les miroirs sur le laser.

### 30 **Brève description de l'invention**

La présente invention vise donc à proposer un dispositif pour horloge atomique permettant un double passage dans la cellule sans les inconvénients de l'état de la technique.

Ce but est atteint par un dispositif pour horloge atomique comprenant une source laser générant un faisceau laser, un séparateur permettant de dévier et de laisser passer une partie du faisceau laser selon un pourcentage prédéfini, une lame quart d'onde modifiant la polarisation linéaire du faisceau laser en une polarisation circulaire et inversement, une cellule à gaz placée sur le faisceau laser de polarisation circulaire, un miroir renvoyant le faisceau laser vers la cellule à gaz, et un premier photodétecteur, le séparateur étant placé entre la source laser et le miroir, la lame quart d'onde étant placée entre le séparateur et le miroir, la cellule à gaz étant placée entre la lame quart d'onde et le miroir, de telle sorte que la polarisation du faisceau provenant de la source laser via le séparateur et arrivant sur la lame quart d'onde est linéaire selon un premier angle et est modifiée par la lame quart d'onde en polarisation circulaire, et ainsi que la polarisation circulaire du faisceau réfléchi par le miroir et traversant une seconde fois la cellule à gaz est modifiée en polarisation linéaire selon un second angle par la lame quart d'onde, le séparateur acheminant une partie du faisceau rétro-réfléchi vers le premier photodétecteur, **caractérisé en ce que le dispositif** comporte de plus un polariseur placé entre la source laser et le séparateur afin de protéger la source laser des rétro-réflexions provenant des différents éléments optiques composant le dispositif.

#### **Brève description des figures**

L'invention sera mieux comprise grâce à la description détaillée qui va suivre en se référant aux dessins annexés dans lesquels :

- 30 Figure 1a : Schéma de principe de l'horloge CPT
- Figure 1b : Schéma de principe de l'oscillateur Raman
- Figure 2 : Schéma simplifié de l'invention

Figure 3: Présentation schématique éclatée du dispositif de l'invention avec géométrie à angle droit et à double passage

Figure 4: Présentation schématique de la conception du  
5 dispositif de l'invention avec géométrie à angle droit et double passage

Figure 5: Présentation schématique éclatée du dispositif de l'invention avec géométrie droite et à double passage

Figure 6a : Présentation schématique de la conception du  
10 dispositif de l'invention avec géométrie droite et double passage, particulièrement adaptée à l'implémentation du concept de l'horloge atomique CPT

Figure 6b : Présentation schématique de la conception du  
15 dispositif de l'invention avec géométrie droite et double passage, particulièrement adaptée à l'implémentation du concept de l'oscillateur Raman

Figure 7: Présentation schématique de la conception du  
20 dispositif de l'invention avec géométrie à angle droit et double passage, particulièrement adaptée à l'implémentation du concept de l'oscillateur Raman

#### **Description détaillée**

La figure 1a illustre le schéma de principe de l'horloge atomique CPT comprenant une diode laser **102**, une lame  $\lambda/4$  (ou lame quart d'onde) **105**, une cellule à gaz (atomique) **106**, un  
25 champ magnétique B, un premier photodétecteur **108**, une électronique de contrôle (A) et un oscillateur micro-onde (C). Le faisceau laser ayant traversé la cellule à gaz **106** est capté par le premier photodétecteur **108** et est utilisé par l'électronique de contrôle pour stabiliser la fréquence du  
30 laser (B) et la fréquence de l'oscillateur microonde (C).

La figure 1b illustre le schéma de principe d'un oscillateur Raman en boucle fermée comprenant une diode laser **102**, une lame  $\lambda/4$  (ou lame quart d'onde) **105**, une cellule à

gaz (atomique) **106**, un champ magnétique B, un premier photodétecteur **108**, un diviseur de fréquence microonde, et un amplificateur RF. Le faisceau laser émis par la diode laser **102** subit dans la cellule à gaz **106** une interaction lumière-atome  
5 qui génère un faisceau complémentaire appelé faisceau Raman. Les deux faisceaux de lumière sont captés par le premier photodétecteur **108** et le battement de fréquences de ces deux faisceaux est amplifié et utilisé comme rétroaction sur le laser pour fermer la boucle microonde de l'oscillateur Raman.

10 La figure 2 illustre le principe de base de l'invention. Dans cette figure, la polarisation du faisceau est symbolisée par des traits lorsque celle-ci est perpendiculaire à la polarisation du faisceau émis par le laser et par des cercles pleins lorsqu'elle y est parallèle. La polarisation circulaire  
15 est notée «  $\sigma$  ». La source laser **102** produit un faisceau laser qui est en général polarisé linéairement et qui est dirigé vers le polariseur **103**, dont l'axe de transmission est orienté de manière à laisser passer le faisceau laser en partie ou en totalité, puis vers le séparateur **101** dont le pourcentage de  
20 séparation est prédéfini. Une partie du faisceau est ainsi réfléchi vers le photodétecteur **108b**. Le séparateur transmet l'autre partie du faisceau vers une lame quart d'onde **105**. Le rôle de la lame **105** est de changer la polarisation linéaire du faisceau laser vers une polarisation circulaire. En effet,  
25 l'interaction entre la lumière et les atomes de la cellule à gaz **106** est optimale lorsqu'elle est réalisée avec un faisceau de polarisation circulaire. Une partie du faisceau sortant de la cellule à gaz **106** est ensuite réfléchi par un miroir **107**, ce qui inverse le sens de sa polarisation circulaire, et tra-  
30 verse ainsi une seconde fois la cellule à gaz **106**. En sortant de la cellule à gaz **106**, le faisceau atteint la lame quart d'onde **105**. Selon le pourcentage de séparation prédéfini du séparateur **101**, ce faisceau est en partie dévié et atteint le

photodétecteur **108a**. Une autre partie de ce faisceau est transmise par le séparateur **101** et est atténuée par le polariseur **103** car sa polarisation est perpendiculaire à celle de l'axe de transmission du polariseur **103**, la source laser **102** étant ainsi protégée des rétro-réflexions. Une faible partie du faisceau ayant traversé la cellule à gaz **106** est transmise par le miroir **107** et captée par le photodétecteur **109**.

Un exemple de réalisation plus complet est illustré à la figure 3 (schéma éclaté). Le séparateur **101** est réalisé sous la forme d'un cube séparateur. Ce cube permet d'implémenter une double traversée de la cellule à gaz **106** qui multiplie par deux l'interaction entre la lumière du laser et le milieu atomique. On obtient un meilleur signal atomique et ainsi une meilleure stabilité de la fréquence de l'horloge atomique.

Sur la figure 3, l'ensemble optique est basé sur un cube miniature **101** dont les côtés sont de préférence inférieurs ou égaux à 1 mm, le cube **101** faisant office de séparateur. Selon un mode standard, le volume du cube est de typiquement  $1\text{mm}^3$ .

Le faisceau de lumière de la diode laser **102** arrive sur l'un des côtés du cube **101**. Selon un mode de réalisation, la diode laser est de type semi-conducteur à cavité verticale et à émission de surface (VCSEL) émettant un faisceau divergeant de lumière à 795 nm. Dans d'autres modes de réalisation, d'autres types de diodes laser ayant des longueurs d'ondes variant typiquement de 780 nm à 894 nm peuvent être utilisés pour une cellule à gaz contenant du Rubidium ou du Césium. Ce choix est dicté par la composition atomique de la cellule à gaz. Selon un mode de réalisation, une lentille de collimation peut être ajoutée devant la diode laser pour produire un faisceau laser non-divergeant.

Selon un mode standard, la lumière produite **112** par le laser a une polarisation linéaire, passe par le polariseur **103**

et est atténuée par un filtre neutre absorbant **104**. Un type différent de filtre peut être utilisé dans d'autres modes de réalisation. La présence de ce filtre n'est pas nécessaire à l'invention. Une lame quart d'onde **105** est placée en sortie de cube contre la face d'où sort le faisceau laser dévié par le séparateur **101**, soit à angle droit du faisceau incident au cube. L'axe rapide de la lame quart d'onde **105** est orienté de telle sorte que la polarisation linéaire incidente **113** est modifiée vers une polarisation circulaire **114** selon un premier sens de rotation. Dans d'autres modes de réalisation, la lame quart d'onde **105** est orientée de telle sorte que la polarisation linéaire incidente **113** est modifiée vers une polarisation circulaire selon un sens de rotation inverse au premier. Le rayon laser de polarisation circulaire **114** traverse la cellule à gaz **106**. Selon un mode standard, la cellule à gaz est réalisée en verre-silicium-verre par des techniques MEMS (microsystème électromécanique) avec un volume intérieur de typiquement  $1 \text{ mm}^3$  et remplie avec un milieu absorbant de type vapeur atomique de métal alcalin (Rubidium ou Césium), et un mélange de gaz tampon. Selon un mode standard, la cellule à gaz est remplie avec du Rubidium-87 et un mélange d'azote et d'argon comme gaz tampon. Dans d'autres formes de réalisations, d'autres types de cellules peuvent être remplies avec des gaz intérieurs différents. Selon un mode particulier, une cellule miniature cylindrique peut être utilisée. Selon un autre mode particulier, la cellule à gaz peut être intégrée dans le cube **101**. La cellule **106** peut être remplie avec d'autres types de vapeur métallique alcaline (rubidium-85, rubidium naturel, césium-133 par exemple) et d'autres types de gaz tampon (Xe, Ne par exemple).

#### Mode de réalisation de l'horloge CPT

La figure 4 illustre la conception du dispositif pour l'horloge CPT. Selon un mode de réalisation standard (boîtier

à angle droit), le pourcentage de séparation du séparateur **101** est prédéfini de manière à avoir une transmission majoritaire et une réflexion minoritaire d'au moins 50% et de moins de 50%, préférentiellement d'au moins 75% et de moins de 25%,  
5 idéalement d'environ 90% et 10% respectivement.

Après son interaction avec les atomes de la vapeur de métal alcalin, le faisceau de lumière **114** polarisé circulairement est majoritairement réfléchi par un miroir **107**. Dans un mode de réalisation CPT standard, la fenêtre de sortie de la  
10 cellule à gaz **106** est recouverte de métal (argent ou or, par exemple) pour jouer le rôle de réflecteur. Dans un autre mode de réalisation, le revêtement de la fenêtre de sortie de la cellule à gaz peut être un miroir diélectrique. La transmission du réflecteur **107** peut être choisie de manière à ce  
15 qu'une faible partie de la lumière soit transmise vers le photodétecteur **109**. La lumière rétro-réfléchie **115** passe à travers et interagit une seconde fois avec le milieu atomique (double passage). En sortie de cellule, le faisceau traverse la lame quart d'onde **105** qui transforme sa polarisation circu-  
20 laire en polarisation linéaire **116**, perpendiculaire à l'axe de transmission du polariseur **103**, et est majoritairement transmis par le cube séparateur miniature **101**. Ce faisceau de lumière transmis **117** atteint le photodétecteur **108a** qui enregistre le spectre d'absorption et plus spécifiquement la diminu-  
25 tion d'absorption due au processus de piégeage cohérent de population (CPT). Dans un mode de réalisation CPT standard, le photodétecteur **108a** est un photodétecteur de type silicium. Dans d'autres modes de réalisation CPT, différents types de photodétecteurs peuvent être utilisés. La partie minoritaire  
30 **119** du faisceau **116** dévié par le séparateur **101** est atténuée par le polariseur **103** et ne perturbe ainsi pas le laser. Dans un mode de réalisation particulier, le photodétecteur **108a** peut être déplacé et peut remplacer le miroir **107**. Dans ce cas

particulier, une version à passage unique du modèle **100** serait créée. Le second photodétecteur **108b** enregistre le faisceau de lumière **118** transmis initialement par le cube séparateur miniature **101**. De cette manière, la puissance de sortie de la source laser **102** peut être mesurée et réglée par une boucle d'asservissement dédiée. Les diaphragmes **110** et **111** sont utilisés pour éviter qu'une lumière indésirable n'atteigne les photodétecteurs si la taille du faisceau laser est supérieure aux dimensions des faces du cube séparateur miniature **101**. La lumière enregistrée par le photodétecteur **109** situé après le miroir **107** peut être utilisée pour différents types d'asservissement tels que fréquence du laser ou température de la cellule.

Sur la figure 6a et selon un mode de réalisation à géométrie droite (schéma éclaté du boîtier à géométrie droite illustré sur la Figure 5), le pourcentage de séparation du cube séparateur est prédéfini de manière inverse à celle décrite ci-dessus (boîtier à angle droit), à savoir une transmission minoritaire et une réflexion majoritaire de moins de 50% et d'au moins 50%, préférentiellement de moins de 25% et d'au moins 75%, idéalement d'environ 10% et 90% respectivement. La conception à double passage optique droit ainsi obtenue **200** (le codage numérique commence à **200** pour la conception **200**) est très similaire à la conception à angle droit et double passage **100** (voir Figure 4). Le rôle du séparateur **201** est ainsi inversé afin que la partie minoritaire du faisceau provenant de la source laser **102** soit transmise plutôt que déviée. Pour sa part, le faisceau rétro-réfléchi **216** est alors majoritairement dévié vers le photodétecteur **208a**. La différence principale dans l'arrangement des différents éléments comparée à la conception **100** réside dans la position de l'entité cellule « cellule à gaz **206**, lame quart d'onde **205**, miroir **207** et photodétecteur **209** ». Dans le modèle **200** de

la figure 6, l'entité cellule à gaz est placée au dessus du cube séparateur **201** et est donc située vis-à-vis du laser **102**. Le photodétecteur **208b** est placé à angle droit, où le faisceau de lumière émis par le laser est réfléchi par le cube séparateur **201** et est utilisé pour la mesure de la puissance laser. A part ces différences, le principe de fonctionnement de la conception **200** est le même que pour le modèle **100**.

#### Mode de réalisation de l'oscillateur Raman

La figure 7 illustre un mode de réalisation particulièrement adapté au concept de l'oscillateur Raman. Selon un mode de réalisation standard (boîtier à angle droit), le pourcentage de séparation du séparateur **101** est prédéfini de manière à avoir une transmission minoritaire et une réflexion majoritaire de moins de 20% et d'au moins 80%, préférentiellement de moins de 10% et d'au moins 90%, plus préférentiellement égal ou inférieur à 2% et égal ou supérieur à 98%, idéalement d'environ 1% et 99% respectivement. Après son interaction avec les atomes de la vapeur de métal alcalin, le faisceau de lumière incident **114a** et le faisceau de lumière généré par la diffusion Raman stimulée (appelé faisceau Raman) **114b** sont réfléchis par un miroir **107**. Dans un mode de réalisation Raman standard, le miroir **107** est réfléchissant (couche réfléchissante d'or ou d'argent ou miroir de Bragg fait de couches diélectriques), il est incliné (typiquement de 2 à 3 degrés) et est concave avec une longueur focale choisie pour focaliser les faisceaux de lumière rétro-réfléchis **115** (faisceaux incident et Raman) sur le photodétecteur **108a**. Le miroir **107** a une transmission typique de quelques pourcents. Ces pourcents de lumière transmise atteignent la surface du photodétecteur **109** utilisé pour mesurer le spectre d'absorption et pour stabiliser la fréquence optique du laser. Dans une réalisation Raman différente, la fenêtre de sortie de la cellule à gaz **106** est concave, revêtue d'argent (ou d'un autre métal, comme par

exemple l'or ou même un miroir de Bragg fait de couches diélectriques) et joue le rôle de réflecteur. Dans une autre réalisation Raman, le miroir est plan et une lentille est utilisée pour focaliser le faisceau sur le photodétecteur

5 **108a**. Si l'intensité du faisceau Raman est suffisante, il est également possible de se passer de moyen de focalisation.

Les faisceaux de lumière rétro-réfléchis **115** (incident et Raman) passent à travers et interagissent une seconde fois avec le milieu atomique (double passage). La lame quart d'onde

10 **105** transforme ces faisceaux de lumière polarisés circulairement en faisceaux de lumière de polarisation linéaire. Ces faisceaux de lumière sont majoritairement déviés **119** (incident et Raman) et atteignent le premier photodétecteur **108a** qui enregistre le battement de fréquences entre le faisceau inci-

15 dent et le faisceau Raman. Dans un mode de réalisation Raman standard, le premier photodétecteur **108a** est un photodétecteur de type semi-conducteur à grande vitesse (fait de Si, GaAs ou InGaAs) qui est positionné au foyer du miroir concave **107**. Dans d'autres modes de réalisation Raman, différents types de

20 photodétecteurs à grande vitesse peuvent être utilisés. Le second photodétecteur **108b** enregistre la lumière **118** provenant directement du laser **102** et transmise initialement par le cube séparateur miniature **101**. De cette manière, la puissance de sortie de la source laser **102** peut être mesurée et réglée par

25 une boucle d'asservissement dédiée. Le photodétecteur **121** enregistre le faisceau rétro-réfléchi **117** transmis par le séparateur **101**. Les diaphragmes **110** et **111** sont utilisés pour éviter qu'une lumière indésirable n'atteigne les photodétecteurs si leurs dimensions sont supérieures à celles du cube

30 séparateur miniature **101**.

La figure 6b illustre la représentation schématique du boîtier à géométrie droite **200** à double passage du mode de réalisation Raman. Toutes les références numériques correspon-

dent au modèle **100** du mode de réalisation Raman et commencent par "2" au lieu de "1".

Avantages de la conception à double passage avec polariseur :

5 Comme mentionné ci-dessus, les avantages de la présente invention résident dans l'utilisation d'un cube central (cube séparateur) dans une conception à double passage. Pour un chemin d'absorption identique, la conception à double passage permet l'utilisation d'un dispositif plus compact comparé à la  
10 conception à un seul passage. Globalement, la conception à double passage avec un cube séparateur central offre une option compacte, robuste et très polyvalente avec beaucoup d'avantages par rapport aux conceptions connues.

La polyvalence de la présente conception est due aux  
15 différents rôles joués par le cube séparateur central. Ce dernier joue le rôle d'un ancrage robuste et stable qui simplifie la conception mécanique. Le cube séparateur central joue le rôle d'un isolant thermique en évitant aux photodétecteurs d'être chauffés par la cellule à gaz ou la  
20 diode laser, tous deux chauffés à une température d'environ 80°C. Associé au polariseur et à la lame quart d'onde, l'ensemble joue le rôle d'un isolateur optique et d'un filtre. La lumière qui entre dans la lame quart d'onde est parfaitement polarisée linéairement, ce qui permet une polarisation  
25 circulaire unique et ainsi un rendement d'interaction lumière-atomes optimal. Après une double interaction avec le milieu atomique, le faisceau de lumière sortant est filtré de manière à ce que la majeure partie de la lumière atteigne le photo-détecteur. La partie du faisceau qui est rétro-réfléchié en  
30 direction de la diode laser est bloquée par le polariseur, ce qui évite de perturber l'émission du faisceau laser et permet la réalisation pratique d'un dispositif à double passage.

Cette isolation thermique permet également un contrôle de température séparé et sans interférence de la cellule à gaz et de la diode laser. Enfin, la conception à cube séparateur central avec deux photodétecteurs permet de mesurer simultanément le signal d'horloge et la puissance de sortie de la diode laser. Dans d'autres conceptions, la mesure de puissance laser et les mesures CPT sont effectuées au moyen d'un seul photodétecteur, des conceptions dans lesquelles les influences de la température de la cellule à gaz et la puissance de sortie intrinsèque de la diode laser sur l'amplitude du signal du photodétecteur ne peuvent pas être différenciées.

### Revendications

1. Dispositif pour horloge atomique comprenant une source laser (102) générant un faisceau laser, un séparateur (101) permettant de dévier et de laisser passer une partie du faisceau laser selon un pourcentage prédéfini, une lame quart d'onde (105) modifiant la polarisation linéaire du faisceau laser en une polarisation circulaire et inversement, une cellule à gaz placée sur le faisceau laser de polarisation circulaire, un miroir (107) renvoyant le faisceau laser vers la cellule à gaz (106), et un premier photodétecteur (108a), le séparateur (101) étant placé entre la source laser (102) et le miroir (107), la lame quart d'onde (105) étant placée entre le séparateur (101) et le miroir (107), la cellule à gaz (106) étant placée entre la lame quart d'onde (105) et le miroir (107), de telle sorte que la polarisation du faisceau provenant de la source laser (102) via le séparateur (101) et arrivant sur la lame quart d'onde (105) est linéaire selon le premier angle et est modifiée par la lame quart d'onde (105) en polarisation circulaire, et ainsi que la polarisation circulaire du faisceau réfléchi par le miroir (107) et traversant une seconde fois la cellule à gaz (106) est modifiée en polarisation linéaire selon le second angle par la lame quart d'onde (105), le séparateur (101) acheminant une partie du faisceau rétro-réfléchi vers le premier photodétecteur (108a), **caractérisé en ce que** le dispositif comporte de plus un polariseur (103) placé entre la sortie du faisceau laser et le séparateur afin de protéger la source laser des rétro-réflexions provenant des différents éléments optiques composant le dispositif.

2. Dispositif selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend un second photodétecteur (109), placé derrière le miroir (107), ledit miroir étant semi-transparent et laissant passer une partie du faisceau laser, ledit second

photodétecteur (109) servant à l'asservissement en fréquence optique du laser et/ou à l'asservissement de la température de la cellule (106).

3. Dispositif selon la revendication 1 ou 2, caractérisé  
5 en ce qu'il comprend un troisième photodétecteur (108b) placé après le séparateur de telle sorte qu'une partie du faisceau laser atteigne ledit deuxième photodétecteur (108b) sans avoir traversé la cellule à gaz (106).

4. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 3,  
10 caractérisé en ce qu'il comprend un diaphragme (110) placé entre le séparateur et la cellule à gaz (106), ce diaphragme réduisant la taille du faisceau laser.

5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4,  
caractérisé en ce qu'il comprend un deuxième diaphragme (111)  
15 placé entre le séparateur et la cellule à gaz (106), ce diaphragme réduisant la taille du faisceau laser.

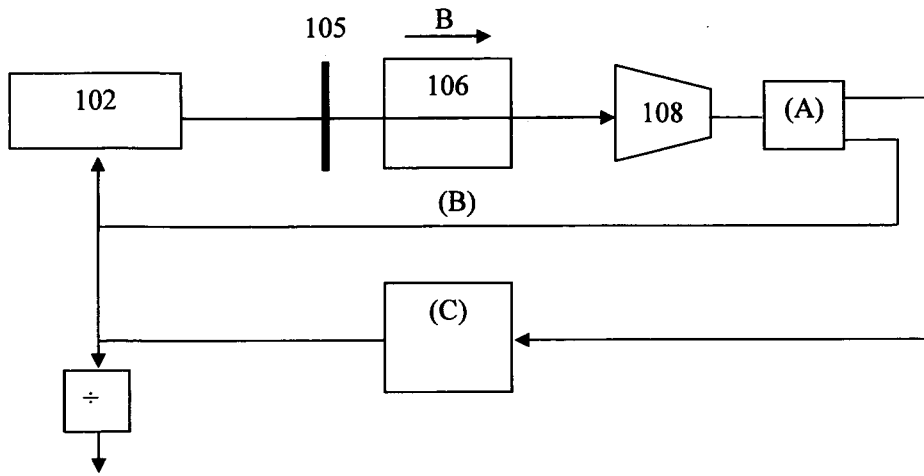


Fig. 1a

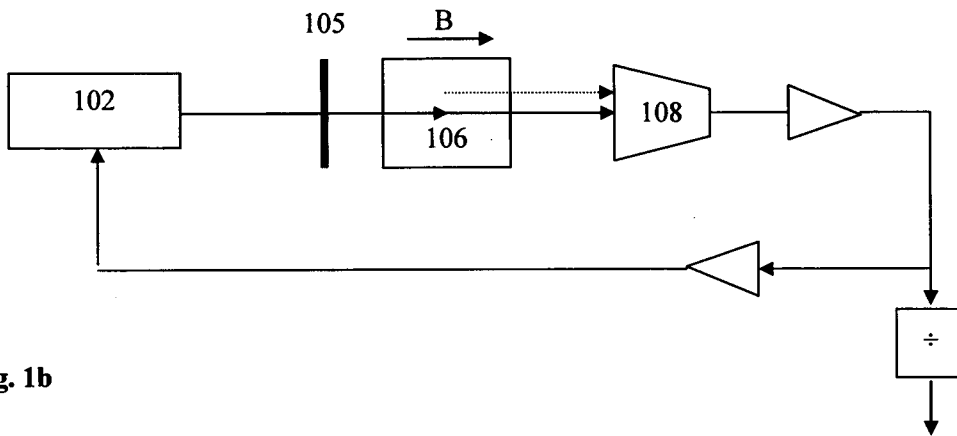


Fig. 1b

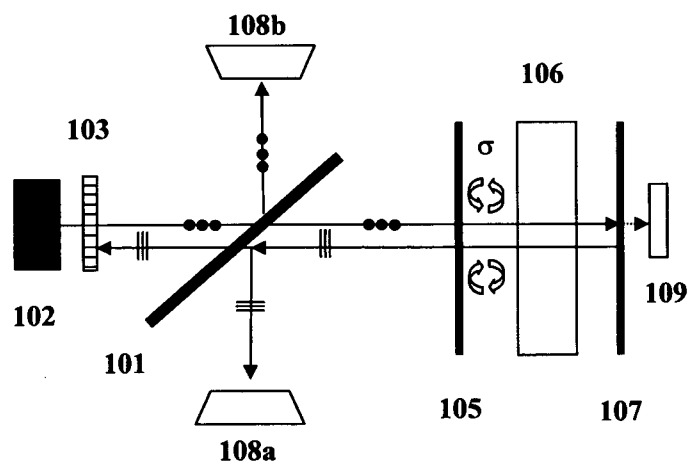


Fig. 2

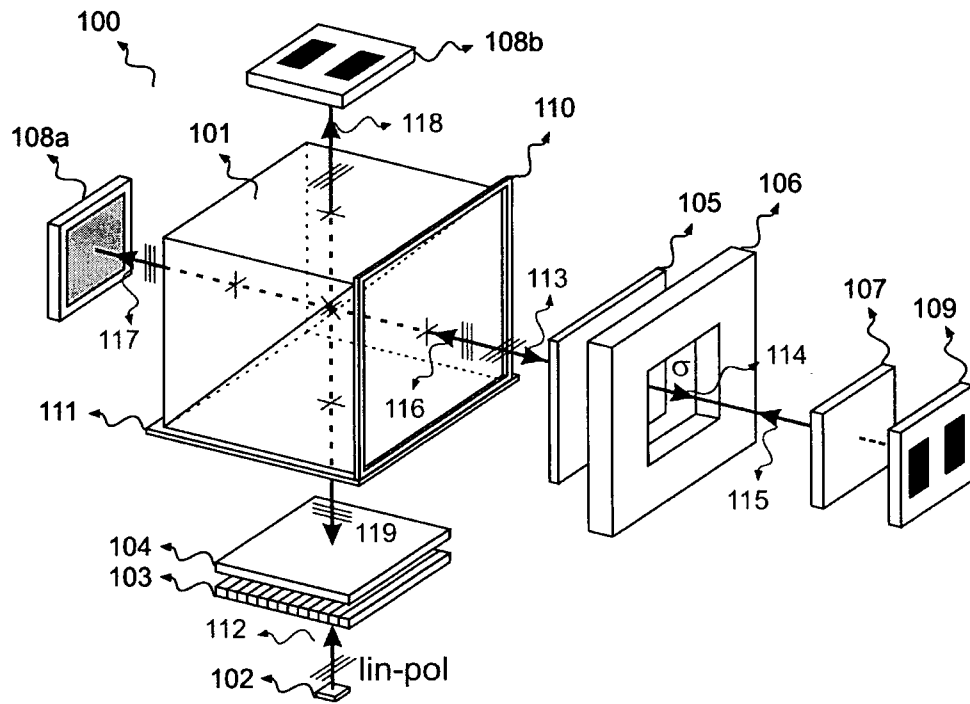


Fig. 3

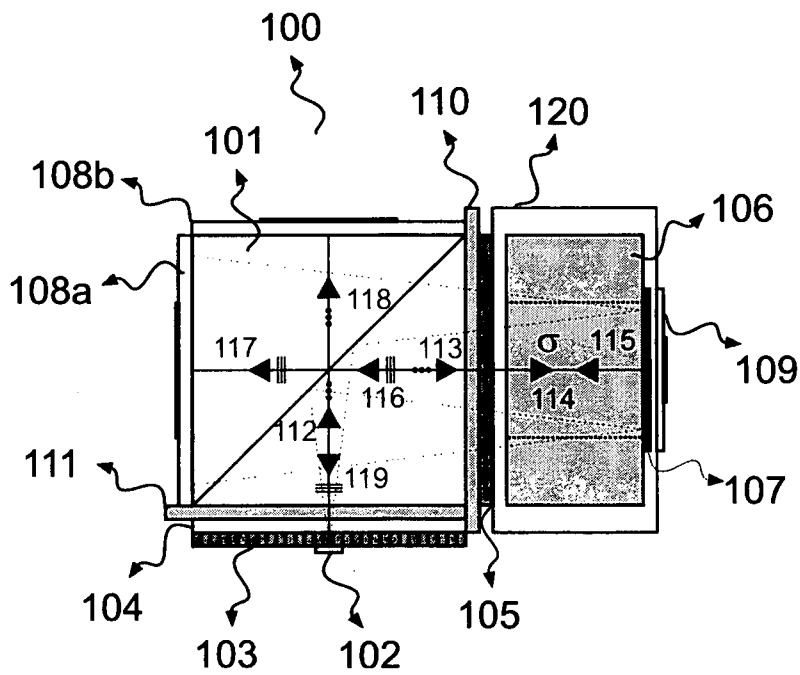


Fig. 4

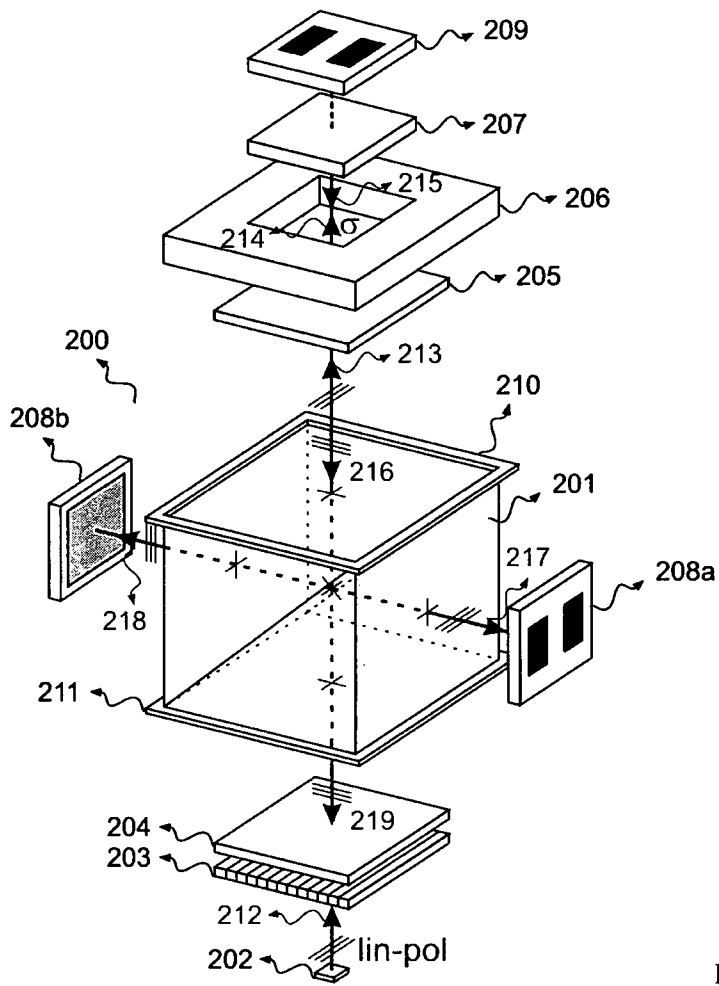


Fig. 5

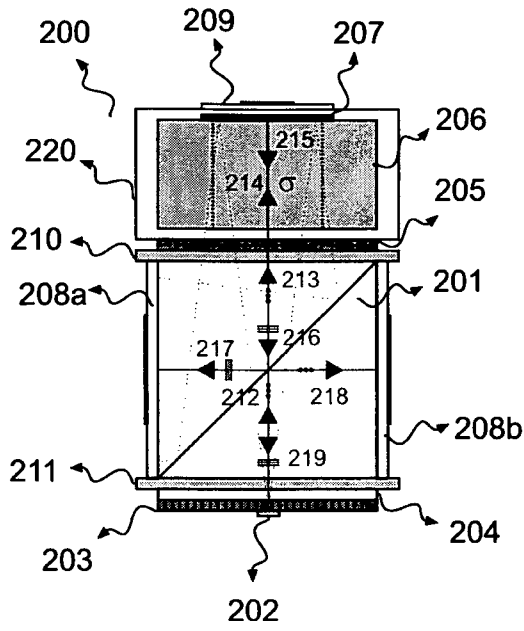


Fig. 6a

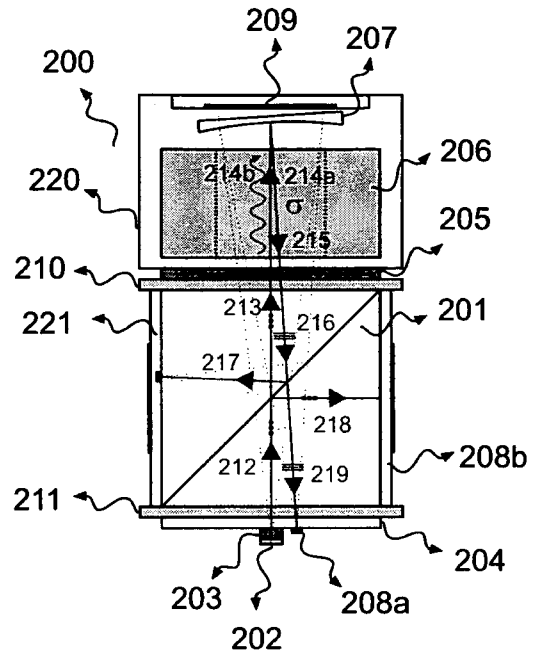


Fig. 6b

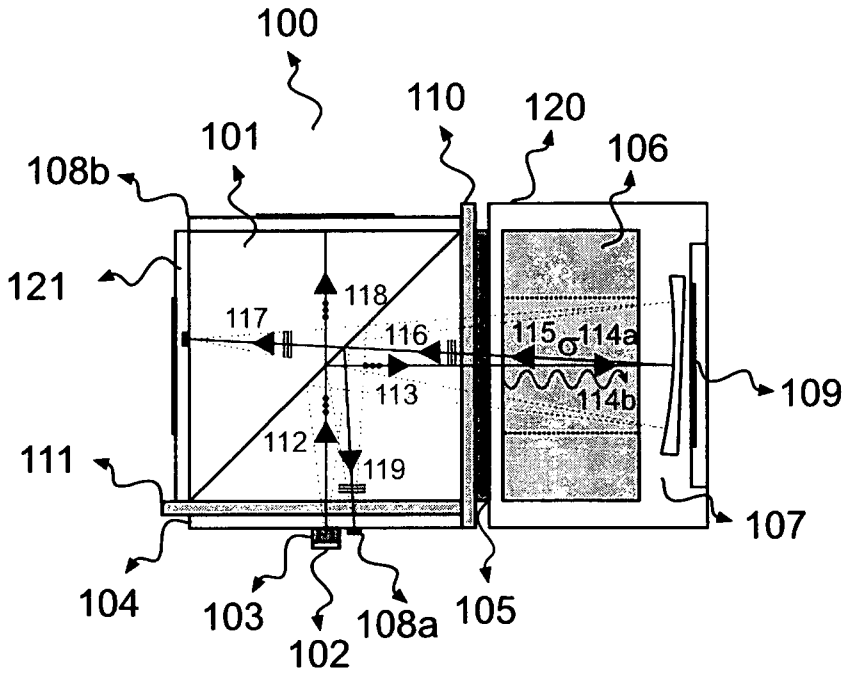


Fig. 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/CH2010/000214

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. G04F5/14  
ADD.  
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED  
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
G04F  
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)  
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2009/128820 A1 (NOMURA HIROSHI [JP]) 21 May 2009 (2009-05-21)	1,4,5
A	figures 1,3,4 paragraphs [0008] - [0011] paragraphs [0035] - [0037] paragraphs [0044], [0047] paragraphs [0054], [0055]	2,3
A	US 2005/264818 A1 (GOLLIER JACQUES [US]) 1 December 2005 (2005-12-01) paragraph [0060] figure 11	1
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>
--	--

Date of the actual completion of the international search  18 January 2011	Date of mailing of the international search report  27/01/2011
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Pirozzi, Giuseppe

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/CH2010/000214

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>BENDELLI, G. AND DONATI, S.: "Optical Isolators for telecommunications: review and current trends", EUROPEAN TRANSACTIONS ON TELECOMMUNICATIONS AND RELATED TECHNOLOGIES, vol. 3, no. 4, July 1992 (1992-07), - August 1992 (1992-08), pages 373-380, XP002617056, figure 2a Page 374, colonne gauche, premier alinéa -----</p>	1

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/CH2010/000214

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2009128820 A1	21-05-2009	JP 2009129955 A	11-06-2009
US 2005264818 A1	01-12-2005	EP 1749202 A1	07-02-2007
		JP 2008500536 T	10-01-2008
		WO 2005119222 A1	15-12-2005

<p>A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE                  INV. G04F5/14                  ADD.</p>		
<p>Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB</p>		
<p>B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE</p>		
<p>Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)                  G04F</p>		
<p>Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche</p>		
<p>Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)                  EPO-Internal, WPI Data</p>		
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS</p>		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	US 2009/128820 A1 (NOMURA HIROSHI [JP]) 21 mai 2009 (2009-05-21)	1,4,5
A	figures 1,3,4 alinéas [0008] - [0011] alinéas [0035] - [0037] alinéas [0044], [0047] alinéas [0054], [0055]	2,3
A	----- US 2005/264818 A1 (GOLLIER JACQUES [US]) 1 décembre 2005 (2005-12-01) alinéa [0060] figure 11  ----- -/--	1
<p><input checked="" type="checkbox"/> Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents</p>		
<p><input checked="" type="checkbox"/> Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe</p>		
<p>* Catégories spéciales de documents cités:</p>		
<p>"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent</p> <p>"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date</p> <p>"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)</p> <p>"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens</p> <p>"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée</p>	<p>"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention</p> <p>"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément</p> <p>"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier</p> <p>"&amp;" document qui fait partie de la même famille de brevets</p>	
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale	
18 janvier 2011	27/01/2011	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé	
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Pirozzi, Giuseppe	

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>BENDELLI, G. AND DONATI, S.: "Optical Isolators for telecommunications: review and current trends", EUROPEAN TRANSACTIONS ON TELECOMMUNICATIONS AND RELATED TECHNOLOGIES, vol. 3, no. 4, juillet 1992 (1992-07), - août 1992 (1992-08), pages 373-380, XP002617056, figure 2a Page 374, colonne gauche, premier alinéa -----</p>	1

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/CH2010/000214

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2009128820 A1	21-05-2009	JP 2009129955 A	11-06-2009
US 2005264818 A1	01-12-2005	EP 1749202 A1	07-02-2007
		JP 2008500536 T	10-01-2008
		WO 2005119222 A1	15-12-2005