PCT ORGANISATION MONDIALE DE LA PROPRIETE INTELLECTUELLE
Bureau international

DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIEE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIERE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets [7] : G01N 21/35, G01J 5/20	A1	(11) Numéro de publication internationale: **WO 00/08442** (43) Date de publication internationale: 17 février 2000 (17.02.00)

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/EP99/05365

(22) Date de dépôt international: 26 juillet 1999 (26.07.99)

(30) Données relatives à la priorité:
9810233 7 août 1998 (07.08.98) FR

(71) Déposant *(pour tous les Etats désignés sauf US)*: SCHLUMBERGER INDUSTRIES, S.A. [FR/FR]; RMS/Propriété Intellectuelle, 50, avenue Jean–Jaurès, F–92120 Montrouge (FR).

(72) Inventeur; et
(75) Inventeur/Déposant *(US seulement)*: GRASDEPOT, François [FR/FR]; 65, avenue Gabriel Péri, F–92260 Fontenay aux Roses (FR).

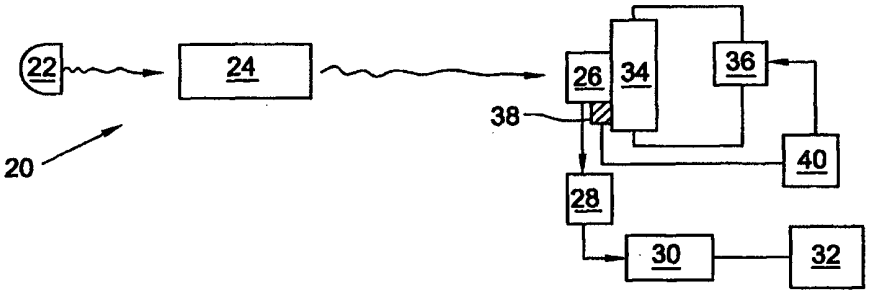
(74) Mandataire: DUPONT, Henri; RMS – Propriété Intellectuelle, 50, avenue Jean–Jaurès, Boîte postale 620–05, F–92542 Montrouge (FR).

(81) Etats désignés: AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CU, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Publiée
Avec rapport de recherche internationale.

(54) Title: METHOD FOR MEASURING SPECTRAL ABSORPTION IN A BODY AND DEVICE THEREFOR

(54) Titre: PROCEDE DE MESURE DE L'ABSORPTION SPECTRALE D'UN CORPS ET DISPOSITIF POUR LA MISE EN OEUVRE DU PROCEDE



(57) Abstract

The invention concerns a method for measuring spectral absorption in a body (24) placed between an electromagnetic radiation emitting source (22) and a detector (26) of said radiation which consists in the following steps: emitting said electromagnetic radiation towards said body over a specific spectral domain; filtering the electromagnetic radiation; detecting the electromagnetic radiation attenuated by absorption due to the body (24) and deducing therefrom said body spectral absorption measurement. The invention is characterised in that the filtering and detecting steps are carried out by a quantum detector (26). The invention is also useful for determining the calorific power of a gas and for measuring an electromagnetic radiation energy. The invention also concerns a device for implementing said method.

(57) Abrégé

L'invention est relative à un procédé de mesure de l'absorption spectrale d'un corps (24) placé entre une source (22) d'émission d'un rayonnement électromagnétique et un détecteur (26) de ce rayonnement consistant à effectuer les étapes suivantes: émettre ledit rayonnement électromagnétique en direction dudit corps sur un domaine spectral déterminé, filtrer le rayonnement électromagnétique, détecter le rayonnement électromagnétique atténué par l'absorption due au corps (24) et en déduire la mesure de l'absorption spectrale de ce corps, caractérisé en ce que les étapes de filtrage et de détection sont réalisées par un détecteur de type quantique (26). L'invention s'applique également à la détermination du pouvoir calorifique d'un gaz et à la mesure de l'énergie d'un rayonnement électromagnétique. L'invention concerne également un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé.

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	**ES**	Espagne	**LS**	Lesotho	**SI**	Slovénie
AM	Arménie	**FI**	Finlande	**LT**	Lituanie	**SK**	Slovaquie
AT	Autriche	**FR**	France	**LU**	Luxembourg	**SN**	Sénégal
AU	Australie	**GA**	Gabon	**LV**	Lettonie	**SZ**	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	**GB**	Royaume-Uni	**MC**	Monaco	**TD**	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	**GE**	Géorgie	**MD**	République de Moldova	**TG**	Togo
BB	Barbade	**GH**	Ghana	**MG**	Madagascar	**TJ**	Tadjikistan
BE	Belgique	**GN**	Guinée	**MK**	Ex-République yougoslave de Macédoine	**TM**	Turkménistan
BF	Burkina Faso	**GR**	Grèce			**TR**	Turquie
BG	Bulgarie	**HU**	Hongrie	**ML**	Mali	**TT**	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	**IE**	Irlande	**MN**	Mongolie	**UA**	Ukraine
BR	Brésil	**IL**	Israël	**MR**	Mauritanie	**UG**	Ouganda
BY	Bélarus	**IS**	Islande	**MW**	Malawi	**US**	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	**IT**	Italie	**MX**	Mexique	**UZ**	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	**JP**	Japon	**NE**	Niger	**VN**	Viet Nam
CG	Congo	**KE**	Kenya	**NL**	Pays-Bas	**YU**	Yougoslavie
CH	Suisse	**KG**	Kirghizistan	**NO**	Norvège	**ZW**	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	**KP**	République populaire démocratique de Corée	**NZ**	Nouvelle-Zélande		
CM	Cameroun			**PL**	Pologne		
CN	Chine	**KR**	République de Corée	**PT**	Portugal		
CU	Cuba	**KZ**	Kazakstan	**RO**	Roumanie		
CZ	République tchèque	**LC**	Sainte-Lucie	**RU**	Fédération de Russie		
DE	Allemagne	**LI**	Liechtenstein	**SD**	Soudan		
DK	Danemark	**LK**	Sri Lanka	**SE**	Suède		
EE	Estonie	**LR**	Libéria	**SG**	Singapour		

PROCEDE DE MESURE DE L'ABSORPTION SPECTRALE D'UN CORPS ET DISPOSITIF POUR LA MISE EN OEUVRE DU PROCEDE

La présente invention concerne un procédé de mesure de l'absorption spectrale d'un corps placé entre une source d'émission d'un rayonnement électromagnétique et un détecteur de ce rayonnement consistant à effectuer les étapes suivantes :

-émettre ledit rayonnement électromagnétique en direction dudit corps sur un domaine spectral déterminé,

-filtrer le rayonnement électromagnétique,

-détecter le rayonnement électromagnétique atténué par l'absorption due au corps et en déduire la mesure de l'absorption spectrale de ce corps.

L'invention concerne également un dispositif pour la mise en oeuvre du procédé et s'applique tout particulièrement aux gaz.

Classiquement on mesure l'absorption spectrale d'un corps placé entre une source d'émission d'un rayonnement électromagnétique et un détecteur de ce rayonnement en :

- émettant ledit rayonnement électromagnétique sur un domaine spectral déterminé au moyen d'un dispositif 10 représenté à la figure 1 et comprenant une source 12 et un corps 14 qui reçoit ce rayonnement,

- filtrant le rayonnement au moyen d'un filtre 16 par exemple de type accordable électriquement sur tout ou partie du domaine spectral considéré,

- détectant le rayonnement électromagnétique atténué par l'absorption due au corps au moyen d'un détecteur 18 et en en déduisant la mesure de l'absorption spectrale de ce corps.

Ainsi procède t'on par exemple dans le domaine de la spectroscopie appliquée à l'analyse de gaz.

Le document EP 0 608 049 illustre d'ailleurs un tel exemple.

Pour la mesure de l'absorption spectrale d'un corps tel que par exemple un gaz l'étape de filtrage met en oeuvre soit plusieurs filtres interférentiels statiques adaptés chacun à une gamme étroite de longueurs d'ondes qui, une fois réunies, couvrent tout ou partie du domaine spectral considéré soit, comme mentionné ci-dessus, un filtre accordable sur tout ou partie du domaine spectral considéré.

Dans le premier cas il est nécessaire de prévoir un mécanisme tel que par exemple un barillet sur lequel sont montés les filtres pour qu'il n'y ait qu'un trajet électromagnétique ou bien de prévoir une sorte de mélangeur électromagnétique qui répartit le rayonnement électromagnétique vers les différents filtres statiques.

Avec un mélangeur électromagnétique il faut en outre qu'un détecteur soit associé à chaque filtre.

Ainsi, une telle solution est relativement compliquée à concevoir et à mettre en oeuvre et est peu économique.

Dans le second cas les éléments du dispositif sont beaucoup moins nombreux puisqu'un seul filtre est présent et qu'il n'y a qu'un seul trajet électromagnétique à considérer.

Toutefois, il n'est pas facile de trouver des filtres accordables électriquement dans le commerce pour les applications envisagées et par ailleurs la conception d'un filtre accordable électriquement n'est pas une tâche aisée.

Compte tenu de ce qui précède il serait par conséquent intéressant de pouvoir mesurer l'absorption spectrale d'un corps de manière plus simple que dans l'art antérieur.

La présente invention a ainsi pour objet un procédé de mesure de l'absorption spectrale d'un corps placé entre une source d'émission d'un rayonnement électromagnétique et un détecteur de ce rayonnement consistant à effectuer les étapes suivantes :

- émettre ledit rayonnement électromagnétique en direction dudit corps sur un domaine spectral déterminé,
- filtrer le rayonnement électromagnétique,
- détecter le rayonnement électromagnétique atténué par l'absorption due au corps et en déduire la mesure de l'absorption spectrale de ce corps, caractérisé en ce que les étapes de filtrage et de détection sont réalisées par un détecteur de type quantique.

Ainsi, il n'est plus nécessaire d'utiliser de filtre pour l'étape de filtrage puisque le détecteur quantique lui même réalise cette fonction ce qui simplifie la technique de la mesure.

Plus précisément, le détecteur quantique présente une sensibilité spectrale ayant un front d'absorption correspondant à l'énergie de transition dudit détecteur pour une longueur d'onde donnée et fournit un signal correspondant à l'énergie

électromagnétique reçue par ledit détecteur quantique. Le procédé consiste alors à utiliser le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique pour en déduire la mesure de l'absorption spectrale du corps.

Selon l'invention, le procédé consiste à effectuer les étapes suivantes :

- déplacer le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique d'une position correspondant à une longueur d'onde λ_0 vers une position correspondant à une longueur d'onde λ_1 qui sont toutes deux incluses dans le domaine spectral du rayonnement électromagnétique émis et
- combiner les signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1 et en déduire la mesure de l'absorption spectrale du corps dans la gamme de longueurs d'onde comprises entre λ_0 et λ_1.

La combinaison de signaux s'entend de toute opération mathématique mettant en relation entre eux les signaux de manière à pouvoir en déduire la mesure de l'absorption spectrale du corps.

Par exemple, le procédé consiste à former la différence des signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1 ou bien à former le rapport des signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1.

Le déplacement du front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique est obtenu en faisant varier un paramètre physique dont dépend la position dudit front d'absorption.

L'invention trouve une application particulièrement intéressante lorsque le corps est un gaz.

Dans le domaine plus particulier de la spectroscopie appliquée à l'analyse de gaz l'invention a également pour objet un procédé de détermination du pouvoir calorifique d'un gaz constitué de constituants combustibles, caractérisé en ce qu'il consiste à effectuer les étapes suivantes :

- émettre ledit rayonnement électromagnétique à travers ledit gaz sur un domaine spectral déterminé dans lequel le gaz présente de l'absorption,

- détecter le rayonnement électromagnétique atténué par l'absorption due aux constituants combustibles au moyen d'un détecteur quantique qui présente une sensibilité spectrale ayant un front d'absorption correspondant à l'énergie de transition dudit détecteur, en déplaçant successivement ledit front d'absorption du détecteur sur des positions correspondant à des longueurs d'onde successives $\lambda_0,...,\lambda_n$, incluses dans le domaine spectral, ledit détecteur fournissant un signal $S(\lambda_i)$ correspondant à l'énergie électromagnétique reçue par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption sur une longueur d'onde λ_i,

- combiner les signaux successifs fournis par le détecteur quantique $S(\lambda i)$, i =0,...,n, de manière à isoler l'absorption spectrale des constituants combustibles sur chaque gamme de longueurs d'onde $(\lambda_i;\lambda_{i+1})$,

- comparer les combinaisons de signaux précédemment obtenues à des combinaisons de signaux obtenues préalablement lors d'une étape d'étalonnage sur un gaz de référence de composition connue et en déduire la valeur du pouvoir calorifique du gaz.

Par exemple, le procédé consiste à former la différence des signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde successives $\lambda_0,...,\lambda_n$ pris deux à deux consécutivement $S(\lambda_{i+1})$-$S(\lambda_i)$ ou bien à former le rapport des signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde successives $\lambda_0,...,\lambda_n$ $S(\lambda_{i+1})/S(\lambda_i)$.

Selon une caractéristique de l'invention, le procédé consiste à déplacer le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique en faisant varier un paramètre physique dont dépend la position dudit front d'absorption.

L'invention trouve également une application intéressante dans le domaine de la mesure de l'énergie d'un rayonnement électromagnétique où il peut, par exemple être utile de caractériser le spectre d'émission d'une source électromagnétique.

L'invention a donc également pour objet un procédé de mesure de l'énergie d'un rayonnement électromagnétique consistant à effectuer les étapes suivantes :

- émettre ledit rayonnement électromagnétique sur un domaine spectral déterminé,
- filtrer le rayonnement électromagnétique,

- détecter le rayonnement électromagnétique et en déduire la mesure de l'énergie de ce rayonnement électromagnétique, caractérisé en ce que les étapes de filtrage et de détection sont réalisées par un détecteur de type quantique.

Plus précisément, le détecteur quantique présente une sensibilité spectrale ayant un front d'absorption correspondant à l'énergie de transition dudit détecteur pour une longueur d'onde donnée et fournit un signal correspondant à l'énergie électromagnétique reçue par ledit détecteur quantique. Le procédé consiste alors à utiliser le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique pour en déduire la mesure de l'énergie de ce rayonnement électromagnétique

Selon une caractéristique, le procédé consiste à effectuer les étapes suivantes :

- déplacer le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique d'une position correspondant à une longueur d'onde λ_0 vers une position correspondant à une longueur d'onde λ_1 qui sont toutes deux incluses dans le domaine spectral du rayonnement électromagnétique émis et,
- combiner les signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1 et en déduire la mesure de l'énergie du rayonnement électromagnétique dans la gamme de longueurs d'onde comprises entre λ_0 et λ_1.

Ainsi, en déplaçant le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur sur tout le domaine spectral considéré il est possible de reconstituer le spectre d'émission de la source par intervalles $(\lambda i;\lambda_{i+1})$.

Le procédé consiste à former la différence des signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1 ou bien à former le rapport des signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1.

Selon une caractéristique de l'invention, le déplacement du front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique est obtenu en faisant varier un paramètre physique dont dépend la position dudit front d'absorption.

L'invention concerne également un dispositif de mesure de l'absorption spectrale d'un corps vis-à-vis d'un rayonnement électromagnétique pour la mise en oeuvre du procédé correspondant mentionné ci-dessus et qui comprend :

- au moins une source d'émission dudit rayonnement électromagnétique sur un domaine spectral déterminé en direction dudit corps,
- des moyens de filtrage dudit rayonnement électromagnétique,
- des moyens de détection dudit rayonnement électromagnétique fournissant un signal électrique représentatif de la mesure de l'absorption spectrale de ce corps, caractérisé en ce que les moyens de filtrage et les moyens de détection sont confondus et sont constitués par un détecteur de type quantique.

Avantageusement, un tel dispositif est particulièrement simple comparé à ceux de l'art antérieur puisqu'il permet de supprimer les filtres interférentiels statiques et le filtre accordable électriquement.

Plus précisément, le détecteur quantique présente une sensibilité spectrale ayant un front d'absorption correspondant à l'énergie de transition dudit détecteur pour une longueur d'onde donnée et fournit un signal correspondant à l'énergie électromagnétique reçue par ledit détecteur quantique, ledit dispositif comprenant en outre :

- des moyens de déplacement du front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique d'une position correspondant à une longueur d'onde λ_0 vers une position correspondant à une longueur d'onde λ_1 qui sont toutes deux incluses dans le domaine spectral du rayonnement électromagnétique émis et,
- des moyens de combinaison des signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1 et de déduction de la mesure de l'absorption spectrale de ce corps dans la gamme de longueurs d'onde comprises entre λ_0 et λ_1.

Les moyens de déplacement du front d'absorption sont par exemple constitués de moyens pour faire varier un paramètre physique dont dépend la position dudit front d'absorption.

Par exemple, le paramètre physique est la température et les moyens pour faire varier la température du détecteur quantique comprennent un élément alimenté par une source de courant variable et utilisant des jonctions à effet Peltier avec lequel ledit

détecteur quantique est maintenu en contact thermique ainsi qu'un élément thermométrique associé audit détecteur quantique.

Les moyens de combinaison des signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1 peuvent être constitués de moyens pour former la différence de ces signaux ou bien de moyens pour former le rapport de ces signaux.

Le corps est par exemple un gaz.

L'invention a également pour objet un dispositif de détermination du pouvoir calorifique d'un gaz constitué de constituants combustibles pour la mise en oeuvre du procédé correspondant énoncé plus haut et qui est caractérisé en ce qu'il comprend :

- au moins une source d'émission dudit rayonnement électromagnétique à travers le gaz sur un domaine spectral déterminé dans lequel le gaz présente de l'absorption,
- des moyens de détection dudit rayonnement électromagnétique atténué par l'absorption due aux constituants combustibles, lesdits moyens étant constitués d'un détecteur quantique qui présente une sensibilité spectrale ayant un front d'absorption correspondant à l'énergie de transition dudit détecteur,
- des moyens de déplacement dudit front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur sur des positions correspondant à des longueurs d'onde successives $\lambda_0,...,\lambda_n$, incluses dans le domaine spectral déterminé, ledit détecteur fournissant un signal $Si(\lambda i)$ correspondant à l'énergie électromagnétique reçue par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption sur une longueur d'onde λ_i,
- des moyens de combinaison des signaux successifs fournis par le détecteur quantique $S(\lambda_i)$, i =0,...,n, de manière à isoler l'absorption spectrale des constituants combustibles sur chaque gamme de longueurs d'onde $(\lambda_i;\lambda_{i+1})$,
- des moyens, d'une part, de comparaison des combinaisons de signaux précédemment obtenues à des combinaisons de signaux obtenues préalablement lors d'une étape d'étalonnage sur un gaz de référence de composition connue et, d'autre part, de déduction de la valeur du pouvoir calorifique du gaz.

Les moyens de déplacement du front d'absorption sont par exemple constitués de moyens pour faire varier un paramètre physique dont dépend la position dudit front d'absorption.

Le paramètre physique est par exemple la température et les moyens pour faire varier la température du détecteur quantique comprennent un élément alimenté par une source de courant variable et utilisant des jonctions à effet Peltier avec lequel ledit détecteur quantique est maintenu en contact thermique ainsi qu'un élément thermométrique associé audit détecteur quantique.

Les moyens de combinaison des signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde successives $\lambda_0,...,\lambda_n$ peuvent être constitués de moyens pour former la différence de ces signaux pris deux à deux consécutivement $S(\lambda_{i+1})$-Si (λ_i) ou bien de moyens pour former le rapport de ces signaux pris deux à deux consécutivement $S(\lambda_{i+1})/S(\lambda_i)$.

L'invention a aussi pour objet un dispositif de mesure de l'énergie d'un rayonnement électromagnétique pour la mise en oeuvre du procédé correspondant mentionné ci-dessus et qui comprend :

- au moins une source d'émission dudit rayonnement électromagnétique sur un domaine spectral déterminé,
- des moyens de filtrage dudit rayonnement électromagnétique,
- des moyens de détection dudit rayonnement électromagnétique fournissant un signal électrique représentatif de la mesure de l'énergie de ce rayonnement électromagnétique, caractérisé en ce que les moyens de filtrage et les moyens de détection sont confondus et sont constitués par un détecteur de type quantique.

Plus précisément, le détecteur quantique présente une sensibilité spectrale ayant un front d'absorption correspondant à l'énergie de transition dudit détecteur pour une longueur d'onde donnée et fournit un signal correspondant à l'énergie électromagnétique reçue par ledit détecteur quantique, ledit dispositif comprenant en outre :

- des moyens de déplacement du front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique d'une position correspondant à une longueur d'onde λ_0 vers une position correspondant à une longueur d'onde λ_1 qui sont toutes deux incluses dans le domaine spectral du rayonnement électromagnétique émis et,
- des moyens pour combiner des signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde $\lambda 0$ et

λ_1 et pour en déduire la mesure de l'énergie dudit rayonnement électromagnétique dans la gamme de longueurs d'onde comprises entre λ_0 et λ_1.

Les moyens de déplacement du front d'absorption sont par exemple constitués de moyens pour faire varier un paramètre physique dont dépend la position dudit front d'absorption.

Le paramètre physique est par exemple la température et les moyens pour faire varier la température du détecteur quantique comprennent un élément alimenté par une source de courant variable et utilisant des jonctions à effet Peltier avec lequel ledit détecteur quantique est maintenu en contact thermique ainsi qu'un élément thermométrique associé audit détecteur quantique.

D'autres caractéristiques et avantages apparaîtront au cours de la description qui va suivre donnée uniquement à titre d'exemple et faite en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 représente schématiquement un dispositif de l'art antérieur,
- la figure 2 représente schématiquement un dispositif de mesure de l'absorption spectrale d'un gaz selon l'invention,
- la figure 3 représente l'allure de la transmission spectrale d'un gaz,
- la figure 4 représente la courbe de sensibilité spectrale d'un détecteur quantique pour deux positions différentes du front d'absorption,
- la figure 5 représente l'allure de la transmission spectrale d'un filtre accordable centré sur la longueur d'onde $(\lambda_1 + \lambda_0) / 2$
- la figure 6 représente la courbe de sensibilité spectrale d'un détecteur quantique et celle de sa dérivée par rapport à la longueur d'onde,
- la figure 7 représente les courbes A et B de sensibilité spectrale des détecteurs quantiques portant respectivement les références G6890 et G6893 et qui sont commercialisées par la société HAMMAMATSU,
- la figure 8 représente la courbe de sensibilité spectrale d'un détecteur quantique pour plusieurs positions différentes du front d'absorption,
- la figure 9 représente schématiquement un dispositif de mesure de l'énergie d'un rayonnement électromagnétique selon l'invention.

Un dispositif de mesure de l'absorption spectrale d'un corps tel que par exemple un gaz est représenté schématiquement à la figure 2 et est désigné par la référence générale notée 20.

Ce dispositif comprend une source 22 émettant un rayonnement électromagnétique, préférentiellement un rayonnement situé dans l'infra-rouge, en direction du gaz qui est contenu dans une cellule 24.

Toutefois, un rayonnement situé dans le visible ou dans l'ultraviolet ou bien dans le domaine des hyperfréquences ou encore dans le domaine des rayons X pourrait également convenir.

La source de rayonnement infrarouge 22 est par exemple une source thermique à large bande constituée d'une lampe à filament de tungstène et qui est stable spectralement pendant le temps nécessaire à la mesure.

Il s'agit par exemple d'une micro-lampe ROYAL commercialisée par la société HAMAI.

La source émet un rayonnement sur un domaine spectral dont les longueurs d'onde sont comprises entre 0,4 et 4,2μm.

Le dispositif comprend également des moyens de filtrage et de détection du rayonnement qui est partiellement absorbé par le gaz de la cellule 24 et qui sont constitués d'un détecteur de type quantique 26.

Le détecteur quantique 26 reçoit l'énergie contenue dans le rayonnement infra-rouge et la transforme en un signal électrique analogique représentatif de ce rayonnement et qui est ensuite transformé en signal numérique par un convertisseur A/D 28, puis injecté dans un microprocesseur 30.

Le microprocesseur stocke les données provenant du détecteur dans une mémoire 32 de type ROM.

Un tel détecteur quantique possède une réponse ou sensibilité variable spectralement qui, dans le sens des longueurs d'onde croissantes, apparaît sous la forme d'un flanc abrupt au voisinage d'une longueur d'onde particulière λ_0 (Fig.4).

Ce flanc abrupt sera appelé front d'absorption dans la suite de l'exposé.

La longueur d'onde λ_0 a une valeur reliée à l'énergie de transition E ("bandgap" en terminologie anglosaxonne) des électrons du matériau constituant le détecteur depuis une orbitale correspondant à une énergie située dans la bande de valence dudit matériau jusqu'à une orbitale située dans sa bande de conduction. La relation entre E

et λ fait intervenir la vitesse de la lumière c et la constante de Planck h et s'écrit $E=hc/\lambda$.

Au voisinage de cette énergie de transition E l'absorption du matériau et donc sa sensibilité spectrale sont rapidement variables avec la longueur d'onde λ_0 et sont fortement sensibles à la température.

Il s'ensuit qu'une mesure d'absorption spectrale faisant intervenir un détecteur quantique pour un domaine spectral voisin de sa transition est fortement instable avec la température et la longueur d'onde.

Par conséquent, on évite donc d'utiliser un détecteur quantique dans un tel domaine pour des mesures d'absorption spectrale précises.

Les détecteurs quantiques sont, au contraire, plutôt utilisés dans la zone où leur sensibilité spectrale est essentiellement plate et où leur rendement est très peu variable en fonction de paramètres physiques tels que la température, la pression ou le champ électrique.

A l'encontre de ce préjugé, la présente invention prévoit justement d'utiliser le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique pour en déduire la mesure de l'absorption ou de la transmission spectrale du gaz à proximité de la longueur d'onde correspondant à l'énergie de transition du détecteur.

La figure 3 représente l'allure de la transmission spectrale d'un gaz qui fait apparaître un creux correspondant à l'absorption spectrale par le gaz entre les longueurs d'onde λ_0 et λ_1 qui sont toutes deux incluses dans le domaine spectral émis par la source et la figure 4 illustre la manière dont est utilisé le front d'absorption du détecteur pour isoler cette absorption dans la gamme de longueurs d'onde considérées.

Par convention, on conviendra que la longueur d'onde correspondant à l'énergie de transition du détecteur est celle obtenue pour la valeur de la sensibilité spectrale située à mi-hauteur de la courbe.

Comme représenté à la figure 4, le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique est utilisé dans deux positions qui correspondent toutes deux aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1 définies ci-dessus.

Le microprocesseur 30 forme la différence des signaux $S(\lambda_0)$ et $S(\lambda_1)$ fournis par le détecteur quantique 26 pour chacune des deux positions du front d'absorption et la différence obtenue $S(\lambda_1) - S(\lambda_0)$ qui est indiquée en traits hachurés sur la figure 4

correspond à l'énergie du rayonnement infra-rouge reçue par le détecteur entre les longueurs d'onde λ_0 et λ_1, cette énergie étant représentative de l'absorption ou de la transmission spectrale du gaz sur cette gamme de longueurs d'onde.

Ainsi, il est possible de considérer cette manière d'isoler une partie du domaine spectral située entre deux longueurs d'onde comme correspondant à une étape de filtrage réalisée par un filtre accordable.

En effet, si l'on écrit les signaux $S(\lambda_0)$ et $S(\lambda_1)$ sous la forme suivante :

$S(\lambda_0) = \int_\lambda E(\lambda)\, \theta gaz\, (\lambda)\, Sd(\lambda-\lambda_0)\, d\lambda,$

$S(\lambda_1) = \int_\lambda E(\lambda)\, \theta gaz\, (\lambda)\, Sd(\lambda-\lambda_1)\, d\lambda,$

où $E(\lambda)$ désigne l'intensité lumineuse émise par la source 22,

$\theta gaz\, (\lambda) = \exp(-L\alpha\, (\lambda))$ désigne la réponse spectrale due au gaz pour la longueur d'onde λ,

L désigne la longueur du trajet optique dans le gaz,

α désigne le coefficient d'absorption optique du gaz et,

Sd représente la réponse spectrale du détecteur,

alors la différence $S(\lambda_1)-S(\lambda_0)$ s'écrit :

$S(\lambda_1) - S(\lambda_0) = \int_\lambda E(\lambda)\, \theta gaz\, [Sd(\lambda-\lambda_1)-Sd(\lambda-\lambda_0)]\, d\lambda,$

soit $\int_\lambda E(\lambda)\, \theta gaz\, (\lambda)\, F((\lambda_1+\lambda_0)/2)\, d\lambda$

où $F((\lambda_1+\lambda_0)/2)$ désigne la transmission spectrale d'un filtre optique accordable centré sur la longueur d'onde $(\lambda_1+\lambda_0)/2$) comme représenté à la figure 5.

Pour faire apparaître la contribution du gaz entre les longueurs d'onde λ_0 et λ_1 (Fig.4)il est également possible de former le rapport $S(\lambda_1)/S(\lambda_0)$ ou, de manière plus générale, de combiner ces deux signaux au moyen d'une relation mathématique.

La position en λ du front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique dépend de paramètres physiques tels que par exemple la température, la pression , le champ électrique, le champ magnétique.

La position du front d'absorption correspondant à la longueur d'onde λ_1 (Fig.4) est obtenue par déplacement de ce front à partir de la position correspondant à la longueur d'onde λ_0.

Le déplacement est obtenu en faisant varier l'un des paramètres physiques énoncés ci-dessus, par exemple la température du détecteur.

Pour ce faire on utilise le montage représenté à la figure 2 qui permet de faire varier la température absolue du détecteur quantique 26.

Le détecteur est par exemple une photodiode commercialisée par la société HAMMAMATSU sous la référence G6890 et qui est sensible dans la gamme de 1,1 à 1,6 microns.

Le détecteur est monté sur un élément 34 alimenté par une source de courant électrique 36 et utilisant des jonctions à effet Peltier.

Le détecteur est maintenu en contact thermique avec cet élément 34 et un élément thermométrique 38 tel que par exemple une thermistance est associée audit détecteur.

Un contrôleur 40 mesure la résistance fournie par la thermistance 38, en déduit la température absolue du détecteur et commande l'injection d'une valeur de courant électrique appropriée dans l'élément 34 pour que ledit détecteur atteigne la température T souhaitée pour laquelle le font d'absorption sera accordé sur une longueur d'onde particulière.

Pour ce faire, il convient de noter que la relation $\lambda(T)$ du matériau constituant le détecteur quantique doit être connue par une étape d'étalonnage préalable.

Il est ainsi possible par exemple d'isoler la contribution du gaz méthane entre les longueurs d'onde 1,60 et 1,66µm en faisant varier la température absolue de -20 à +25°C.

Il est également possible par exemple d'isoler la contribution de la vapeur d'eau entre les longueurs d'onde 2,6 et 2,7µm en faisant varier la température dans la même plage que précédemment avec un détecteur quantique commercialisé par la société HAMMAMATSU sous la référence G6893.

Un tel dispositif peut être utilisé pour l'analyse spectrale de gaz et peut servir de capteur de gaz, par exemple de méthane, de dioxyde de carbone ou de vapeur d'eau.

Toutefois, le dispositif selon l'invention peut également servir à mesurer l'absorption spectrale de corps tels que par exemple l'eau et des hydrocarbures liquides.

On remarquera que la dérivée par rapport à la longueur d'onde λ de la sensibilité spectrale S du détecteur (représentée à la figure 6) correspond à la transmission spectrale d'un filtre optique du type à encoche.

On comprend alors qu'en effectuant la dérivée par rapport à λ de la sensibilité spectrale du détecteur ou en déplaçant le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur cela revient à réaliser la fonction exercée par un filtre optique accordable.

En effet, lorsque $\lambda_1 = \lambda_0 + \Delta\lambda$, ce qui correspond à un faible déplacement en longueur d'onde $\Delta\lambda$, le fait de former la différence $S(\lambda + \Delta\lambda) - S(\lambda_0)$ revient en quelque sorte à effectuer la dérivée du signal S au voisinage de λ_0, au terme $\Delta\lambda$ près.

La figure 7 représente les courbes de sensibilité A et B en longueurs d'onde des détecteurs portant respectivement les références G6890 et G6893 évoquées plus haut.

Les parties en pointillés et en traits plein du front d'absorption sont respectivement obtenues pour les températures de -20 et +25°C.

Selon une deuxième application, il est intéressant d'utiliser le dispositif de l'invention pour déterminer le pouvoir calorifique du gaz naturel qui est constitué de constituants combustibles .

Pour ce faire, on conserve le dispositif représenté à la figure 2 dans lequel la cellule 24 est remplie de gaz naturel et l'on fait varier un paramètre physique dont dépend la position du front d'absorption du détecteur quantique 26, par exemple la température absolue de ce détecteur, sur une gamme de températures permettant ainsi au front d'absorption de se déplacer sur les longueurs d'onde λ_0, λ_1, λ_2,..., λ_{n-1}, λ_n (Fig.8).

Pour chacune des positions du front d'absorption correspondant à une longueur d'onde λ_i le détecteur fournit un signal $S(\lambda_i)$ qui est stocké dans la mémoire 32 et le microprocesseur 30 forme ensuite la différence des signaux consécutifs $S(\lambda_{i+1}) - S(\lambda_i)$, pour i=0,...,n, ou bien le rapport des signaux $S(\lambda_{i+1})/S(\lambda_i)$ ou encore une combinaison mathématique reliant ces signaux afin d'isoler la contribution gazeuse dans chacun des intervalles $(\lambda_i; \lambda_{i+1})$ et d'en déduire une valeur de l'absorption ou de la transmission spectrale gazeuse dans cet intervalle.

Par comparaison des signaux $S(\lambda_{i+1}) - S(\lambda_i)$ avec les signaux de référence $(S(\lambda_{i+1}) - S(\lambda_i))$ref obtenus préalablement lors d'une étape d'étalonnage réalisée avec un gaz de référence de composition connue on en déduit la valeur du pouvoir calorifique du gaz naturel considéré.

A titre d'exemple, le gaz naturel possède la composition suivante :

Méthane 89,5 %

Ethane	5 %
Propane	1 %
Butane	0,6 %
Pentane	0,3 %
Gaz neutres	3,6 %

Plusieurs longueurs d'onde λ_0 à λ_5 (n = 5) vont être utilisées pour déterminer la contribution des différents constituants du gaz naturel cités ci-dessus à l'exception des gaz neutres qui n'apportent aucune contribution au pouvoir calorifique.

Ces longueurs d'onde sont telles qu'à chacune d'elles correspond la contribution de plusieurs constituants combustibles.

En appliquant différentes valeurs de température au détecteur par l'intermédiaire du montage représenté à la figure 2, le front d'absorption de la sensibilité spectrale dudit détecteur s'accorde sur les longueurs d'ondes respectives λ_0 à λ_5.

Le détecteur quantique 26 fournit pour chaque position λ (T) un signal électrique correspondant à S (λ) :

$$S(\lambda_0) = \int_{\lambda} E(\lambda)\, \theta gaz(\lambda, xi)\, Sd(\lambda-\lambda_0)\, d\lambda$$

où E (λ) désigne l'intensité lumineuse émise par la source 22,

$\theta_{gaz}(\lambda, x_i) = \exp\left(-L \times \sum_i \alpha_i(\lambda) \times x_i\right)$ désigne la réponse spectrale due à tous les constituants combustibles gazeux présents à cette longueur d'onde,

L désignant la longueur du trajet optique dans le gaz,

x_i représentant le nombre de moles du constituant combustible i par unité de volume à la pression P et à la température T,

α_i désignant le coefficient d'absorption du constituant combustible i, et dépendant de la longueur d'onde, de la pression et de la température,

et Sd représentant la réponse spectrale du détecteur.

En formant la différence S (λ_{i+1}) - S (λ_i) pour les couples consécutifs de longueurs d'onde $\lambda_0, \lambda_1, \ldots\ldots, \lambda_5$ on obtient cinq valeurs pour lesquelles l'absorbance A se définit comme suit : A (λ_i ; λ_{i+1}) = Ln (1 / (S (λ_{i+1}) - S (λ_i)) où Ln désigne la fonction logarithme népérien et l'on obtient le système suivant de cinq équations :

$A_1 = a_{11}x_1 + a_{21}x_2 + \ldots + a_{51}x_5$

$A_2 = a_{12}x_1 + a_{22}x_2 + \ldots + a_{52}x_5$

.....

$A_5 = a_{15}x_1 + a_{25}x_2 + \ldots + a_{55}x_5$

où les termes aij dépendent du constituant i et du dispositif 20.

Avant de mettre en oeuvre l'invention sur un gaz naturel de composition non connue on procède à une étape d'étalonnage préalable en laboratoire en injectant dans le dispositif 20 plusieurs gaz avec des constituants de nombres de moles par unité de volume xi connues à T et P données.

L'étape d'étalonnage est habituellement réalisée au moyen d'un spectromètre à transformée de Fourier.

Pour un mélange de constituants combustibles connus on obtient, en accordant le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique 26 sur les longueurs d'onde $\lambda_0, \lambda_1, \ldots, \lambda_5$, un système de cinq équations :

$A_{11} = a_{11}x_1 + \ldots + a_{51}x_5$

.....

$A_{51} = a_{15}x_1 + \ldots + a_{55}x_5$

où les x_i ($i = 1, \ldots, 5$) sont connues et où les termes a_{ij} sont les inconnues.

En injectant dans l'appareil 10 quatre autres mélanges de gaz connus on obtient ainsi vingt équations supplémentaires avec les mêmes termes a_{ij} que précédemment.

Ceci permet alors de calculer par une méthode mathématique connue, telle que par exemple une méthode de résolution d'équations linéaires, les coefficients a_{ij} qui sont définis comme suit :

$$[A_j]_{k=1,\ldots,5} = [a_{ij}]_{k=1,\ldots,5}\,[x_i]$$

où les indices k identifient le mélange de gaz connu concerné.

En inversant par une méthode mathématique d'inversion classique la matrice $[a_{ij}]$, on se ramène à un système d'équations

$$[x_i]_{x=1,\ldots,5} = [a_{ij}]^{-1}_{\substack{i=1\ldots,5\\ j=1,\ldots,5}}\,[A_j]_{i=1,\ldots,5} = [b_{ij}]_{\substack{i=1\ldots,5\\ j=1,\ldots,5}}\,[A_j]_{i=1,\ldots,5}$$

Ainsi, les valeurs x_i s'écrivent $x_i = \sum_{j=1,\ldots,5} b_{ij} \times A_j x_i = \sum b_{ij} A_j$,

Il suffit de mémoriser dans la mémoire 32 les données b_{ij} calculées lors de l'étalonnage, et lorsque l'on a affaire à un gaz naturel de composition et donc de pouvoir calorifique non connus, les différentes valeurs Aj sont mesurées pour différents intervalles $[\lambda_i ; \lambda_{i+1}]$ obtenus comme décrit précédemment et les termes x_i s'en déduisent facilement.

Le pouvoir calorifique H (P,T) du gaz s'écrit $\sum_{i=1,...,5} x_i \times H_i$ où H_i représente le pouvoir calorifique du constituant i en Joules par mole.

Par conséquent, dès que les termes xi sont déterminés, le pouvoir calorifique H (P,T) est obtenu directement.

Selon une autre application particulièrement intéressante, la figure 9 représente schématiquement un dispositif 42 de mesure de l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis par une source 44 sur un domaine spectral déterminé et reçu par un détecteur quantique 46.

De manière identique à ce qui a été décrit ci-dessus en relation avec la figure 2, le signal électrique fourni par le détecteur est converti en signal numérique par le convertisseur 48 et traité par le microprocesseur 50, une mémoire 52 de type ROM servant à stocker les données provenant du détecteur et du microprocesseur.

Le montage constitué d'une thermistance 54 associée au détecteur 46, de l'élément 56 muni de jonctions à effet Peltier, du contrôleur 58 et de la source de courant 60 est identique structurellement et fonctionnellement à celui de la figure 2.

Ainsi, en déplaçant le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur sur tout le domaine spectral de la source 44 il est possible de reconstituer son spectre d'émission par intervalles de longueurs d'onde $(\lambda_i;\lambda_{i+1})$.

REVENDICATIONS

1. Procédé de mesure de l'absorption spectrale d'un corps (24) placé entre une source (22) d'émission d'un rayonnement électromagnétique et un détecteur (26) de ce rayonnement consistant à effectuer les étapes suivantes :

- émettre ledit rayonnement électromagnétique en direction dudit corps sur un domaine spectral déterminé,
- filtrer le rayonnement électromagnétique,
- détecter le rayonnement électromagnétique atténué par l'absorption due au corps (24) et en déduire la mesure de l'absorption spectrale de ce corps , caractérisé en ce que les étapes de filtrage et de détection sont réalisées par un détecteur de type quantique (26).

2. Procédé selon la revendication 1, selon lequel le détecteur quantique (26) présente une sensibilité spectrale ayant un front d'absorption correspondant à l'énergie de transition dudit détecteur pour une longueur d'onde donnée et fournit un signal correspondant à l'énergie électromagnétique reçue par ledit détecteur quantique, ledit procédé consistant à utiliser le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique pour en déduire la mesure de l'absorption spectrale du corps (24).

3. Procédé selon la revendication 2, selon lequel ledit procédé consiste à effectuer les étapes suivantes :

- déplacer le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique (26) d'une position correspondant à une longueur d'onde λ_0 vers une position correspondant à une longueur d'onde λ_1 qui sont toutes deux incluses dans le domaine spectral du rayonnement électromagnétique émis et
- combiner les signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1 et en déduire la mesure de l'absorption spectrale du corps (24) dans la gamme de longueurs d'onde comprises entre λ_0 et λ_1.

4. Procédé selon la revendication 3, selon lequel ledit procédé consiste à former la différence des signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1.

5. Procédé selon la revendication 3, selon lequel ledit procédé consiste à former le rapport des signaux fournis par le détecteur quantique (26) pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1.

6. Procédé selon l'une des revendications 3 à 5, consistant à déplacer le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique (26) en faisant varier un paramètre physique dont dépend la position dudit front d'absorption.

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, selon lequel le corps est un gaz.

8. Procédé de détermination du pouvoir calorifique d'un gaz constitué de constituants combustibles, caractérisé en ce qu'il consiste à effectuer les étapes suivantes :

- émettre ledit rayonnement électromagnétique à travers ledit gaz sur un domaine spectral déterminé dans lequel le gaz présente de l'absorption,
- détecter le rayonnement électromagnétique atténué par l'absorption due aux constituants combustibles au moyen d'un détecteur quantique (26) qui présente une sensibilité spectrale ayant un front d'absorption correspondant à l'énergie de transition dudit détecteur, en déplaçant successivement ledit front d'absorption du détecteur sur des positions correspondant à des longueurs d'onde successives λ_0,..., λ_n, incluses dans le domaine spectral, ledit détecteur fournissant un signal $S(\lambda_i)$correspondant à l'énergie électromagnétique reçue par le détecteur quantique (26) pour chacune des positions du front d'absorption sur une longueur d'onde λ_i,
- combiner les signaux successifs fournis par le détecteur quantique $S(\lambda_i)$, i =0,...,n, de manière à isoler l'absorption spectrale des constituants combustibles sur chaque gamme de longueurs d'onde (λ_i; λ_{i+1}),
- comparer les combinaisons de signaux précédemment obtenues à des combinaisons de signaux obtenues préalablement lors d'une étape d'étalonnage sur un gaz de

référence de composition connue et en déduire la valeur du pouvoir calorifique du gaz.

9. Procédé selon la revendication 8, selon lequel ledit procédé consiste à former la différence des signaux fournis par le détecteur quantique (26) pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde successives λ_0,..., λ_n pris deux à deux consécutivement $S(\lambda_{i+1})$-$S(\lambda_i)$.

10. Procédé selon la revendication 8, selon lequel ledit procédé consiste à former le rapport des signaux fournis par le détecteur quantique (26) pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde successives λ_0,..., λ_n $S(\lambda_{i+1})/S(\lambda_i)$.

11. Procédé selon l'une des revendications 8 à 10, consistant à déplacer le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique (26) en faisant varier un paramètre physique dont dépend la position dudit front d'absorption.

12. Procédé de mesure de l'énergie d'un rayonnement électromagnétique consistant à effectuer les étapes suivantes :
- émettre ledit rayonnement électromagnétique sur un domaine spectral déterminé,
- filtrer le rayonnement électromagnétique,
- détecter le rayonnement électromagnétique et en déduire la mesure de l'énergie de ce rayonnement électromagnétique, caractérisé en ce que les étapes de filtrage et de détection sont réalisées par un détecteur de type quantique (46).

13. Procédé selon la revendication 12, selon lequel le détecteur quantique (46) présente une sensibilité spectrale ayant un front d'absorption correspondant à l'énergie de transition dudit détecteur pour une longueur d'onde donnée et fournit un signal correspondant à l'énergie électromagnétique reçue par ledit détecteur quantique, ledit procédé consistant à utiliser le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique (46) pour en déduire la mesure de l'énergie de ce rayonnement électromagnétique.

14. Procédé selon la revendication 13, selon lequel ledit procédé consiste à effectuer les étapes suivantes :

- déplacer le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique (46) d'une position correspondant à une longueur d'onde λ_0 vers une position correspondant à une longueur d'onde λ_1 qui sont toutes deux incluses dans le domaine spectral du rayonnement électromagnétique émis et
- combiner les signaux fournis par le détecteur quantique (46) pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1 et en déduire la mesure de l'énergie du rayonnement électromagnétique dans la gamme de longueurs d'onde comprises entre λ_0 et λ_1.

15. Procédé selon la revendication 14, selon lequel ledit procédé consiste à former la différence des signaux fournis par le détecteur quantique (46) pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1.

16. Procédé selon la revendication 14, selon lequel ledit procédé consiste à former le rapport des signaux fournis par le détecteur quantique (46) pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1.

17. Procédé selon l'une des revendications 14 à16, consistant à déplacer le front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique (46) en faisant varier un paramètre physique dont dépend la position dudit front d'absorption.

18. Dispositif (20) de mesure de l'absorption spectrale d'un corps (24) vis-à-vis d'un rayonnement électromagnétique pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une des revendications 1 à 7, comprenant :

- au moins une source (22) d'émission dudit rayonnement électromagnétique sur un domaine spectral déterminé en direction dudit corps (24),
- des moyens de filtrage dudit rayonnement électromagnétique,
- des moyens de détection dudit rayonnement électromagnétique fournissant un signal électrique représentatif de la mesure de l'absorption spectrale de ce corps,

caractérisé en ce que les moyens de filtrage et les moyens de détection sont confondus et sont constitués par un détecteur de type quantique (26).

19. Dispositif selon la revendication 18, dans lequel le détecteur quantique (26) présente une sensibilité spectrale ayant un front d'absorption correspondant à l'énergie de transition dudit détecteur pour une longueur d'onde donnée et fournit un signal correspondant à l'énergie électromagnétique reçue par ledit détecteur quantique, ledit dispositif comprenant en outre :

- des moyens (34, 36, 38, 40) de déplacement du front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique d'une position correspondant à une longueur d'onde λ_0 vers une position correspondant à une longueur d'onde λ_1 qui sont toutes deux incluses dans le domaine spectral du rayonnement électromagnétique émis et,
- des moyens (30) de combinaison des signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1 et de déduction de la mesure de l'absorption spectrale de ce corps dans la gamme de longueurs d'onde comprises entre λ_0 et λ_1.

20. Dispositif selon la revendication 19, dans lequel les moyens (34, 36, 38, 40) de déplacement du front d'absorption sont constitués de moyens pour faire varier un paramètre physique dont dépend la position dudit front d'absorption.

21. Dispositif selon la revendication 20, dans lequel le paramètre physique est la température et les moyens pour faire varier la température du détecteur quantique comprennent un élément (34) alimenté par une source de courant variable (36) et utilisant des jonctions à effet Peltier avec lequel ledit détecteur quantique est maintenu en contact thermique ainsi qu'un élément thermométrique (38) associé audit détecteur quantique (26).

22. Dispositif selon la revendication 19, dans lequel les moyens (30) de combinaison des signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1 sont constitués de moyens pour former la différence de ces signaux.

23. Dispositif selon la revendication 19, dans lequel les moyens (30) de combinaison des signaux fournis par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1 sont constitués de moyens pour former le rapport de ces signaux.

24. Dispositif selon l'une des revendications 18 à 23, dans lequel le corps est un gaz.

25. Dispositif de détermination du pouvoir calorifique d'un gaz constitué de constituants combustibles pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une des revendications 8 à 11, caractérisé en ce qu'il comprend :

- au moins une source (22) d'émission dudit rayonnement électromagnétique à travers le gaz sur un domaine spectral déterminé dans lequel le gaz présente de l'absorption,
- des moyens de détection dudit rayonnement électromagnétique atténué par l'absorption due aux constituants combustibles, lesdits moyens étant constitués d'un détecteur quantique qui présente une sensibilité spectrale ayant un front d'absorption correspondant à l'énergie de transition dudit détecteur,
- des moyens (34, 36, 38, 40) de déplacement dudit front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur sur des positions correspondant à des longueurs d'onde successives $\lambda_0,\ldots, \lambda_n$, incluses dans le domaine spectral déterminé, ledit détecteur fournissant un signal $S(\lambda_i)$ correspondant à l'énergie électromagnétique reçue par le détecteur quantique pour chacune des positions du front d'absorption sur une longueur d'onde λ_i,
- des moyens (30) de combinaison des signaux successifs fournis par le détecteur quantique $S(\lambda_i)$, i =0,...,n, de manière à isoler l'absorption spectrale des constituants combustibles sur chaque gamme de longueurs d'onde $(\lambda_i; \lambda_{i+1})$,
- des moyens (30), d'une part, de comparaison des combinaisons de signaux précédemment obtenues à des combinaisons de signaux obtenues préalablement lors d'une étape d'étalonnage sur un gaz de référence de composition connue et, d'autre part, de déduction de la valeur du pouvoir calorifique du gaz.

26. Dispositif selon la revendication 25, dans lequel les moyens (34, 36, 38, 40) de déplacement du front d'absorption sont constitués de moyens pour faire varier un paramètre physique dont dépend la position dudit front d'absorption.

27. Dispositif selon la revendication 26, dans lequel le paramètre physique est la température et les moyens pour faire varier la température du détecteur quantique (26) comprennent un élément (34) alimenté par une source de courant variable et utilisant des jonctions à effet Peltier avec lequel ledit détecteur quantique est maintenu en contact thermique ainsi qu'un élément thermométrique (38) associé audit détecteur quantique.

28. Dispositif selon la revendication 25, dans lequel les moyens (30) de combinaison des signaux fournis par le détecteur quantique (26) pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde successives λ_0,..., λ_n sont constitués de moyens pour former la différence de ces signaux pris deux à deux consécutivement $S(\lambda_{i+1})-S(\lambda_i)$.

29. Dispositif selon la revendication 25, dans lequel les moyens (30) de combinaison des signaux fournis par le détecteur quantique (26) pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1 sont constitués de moyens pour former le rapport de ces signaux pris deux à deux consécutivement $S(\lambda_{i+1})/S(\lambda_i)$.

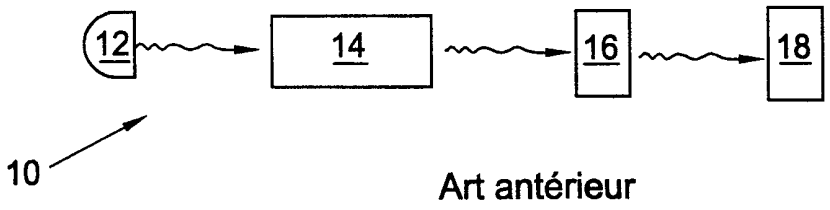
30. Dispositif (42) de mesure de l'énergie d'un rayonnement électromagnétique pour la mise en oeuvre du procédé selon l'une des revendications 12 à 17, comprenant :
- au moins une source (44) d'émission dudit rayonnement électromagnétique sur un domaine spectral déterminé,
- des moyens de filtrage dudit rayonnement électromagnétique,
- des moyens de détection dudit rayonnement électromagnétique fournissant un signal électrique représentatif de la mesure de l'énergie de ce rayonnement électromagnétique, caractérisé en ce que les moyens de filtrage et les moyens de détection sont confondus et sont constitués par un détecteur de type quantique (46).

31. Dispositif selon la revendication 30, dans lequel le détecteur quantique (46) présente une sensibilité spectrale ayant un front d'absorption correspondant à l'énergie de transition dudit détecteur pour une longueur d'onde donnée et fournit un signal correspondant à l'énergie électromagnétique reçue par ledit détecteur quantique, ledit dispositif (42) comprenant en outre :

- des moyens (54, 56, 58, 60) de déplacement du front d'absorption de la sensibilité spectrale du détecteur quantique (46) d'une position correspondant à une longueur d'onde λ_0 vers une position correspondant à une longueur d'onde λ_1 qui sont toutes deux incluses dans le domaine spectral du rayonnement électromagnétique émis et,
- des moyens (50) pour combiner des signaux fournis par le détecteur quantique (46) pour chacune des positions du front d'absorption correspondant aux longueurs d'onde λ_0 et λ_1 et pour en déduire la mesure de l'énergie dudit rayonnement électromagnétique dans la gamme de longueurs d'onde comprises entre λ_0 et λ_1.

32. Dispositif selon la revendication 31, dans lequel les moyens (54, 56, 58, 60) de déplacement du front d'absorption sont constitués de moyens pour faire varier un paramètre physique dont dépend la position dudit front d'absorption.

33. Dispositif selon la revendication 32, dans lequel le paramètre physique est la température et les moyens pour faire varier la température du détecteur quantique (46) comprennent un élément alimenté par une source de courant variable (60) et utilisant des jonctions à effet Peltier avec lequel ledit détecteur quantique est maintenu en contact thermique ainsi qu'un élément thermométrique (54) associé audit détecteur quantique.



Art antérieur

Fig. 1

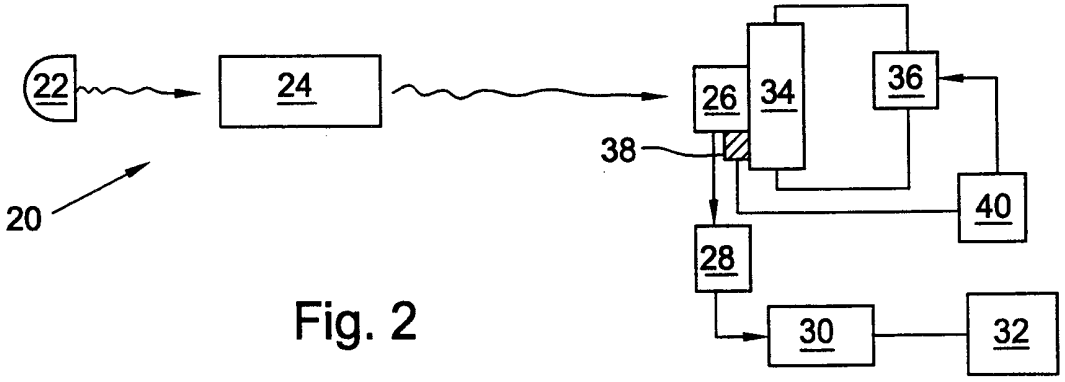


Fig. 2

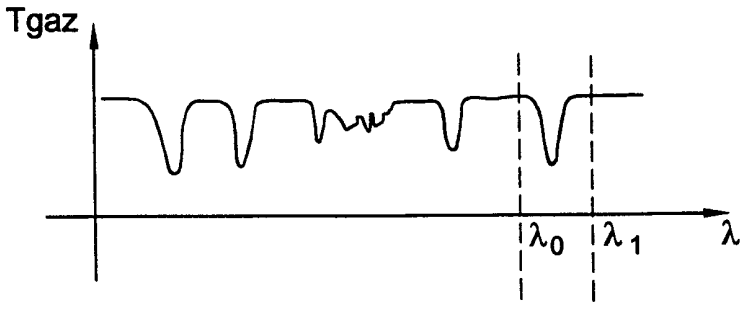


Fig. 3

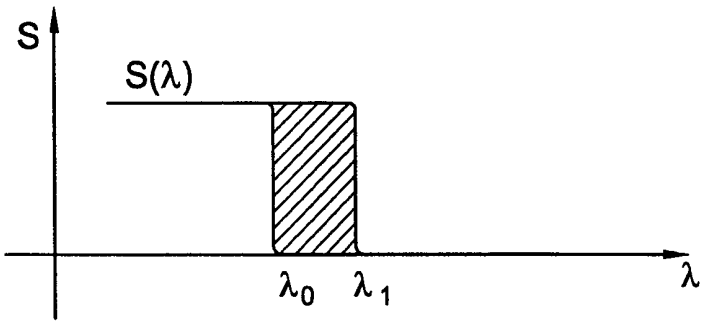


Fig. 4

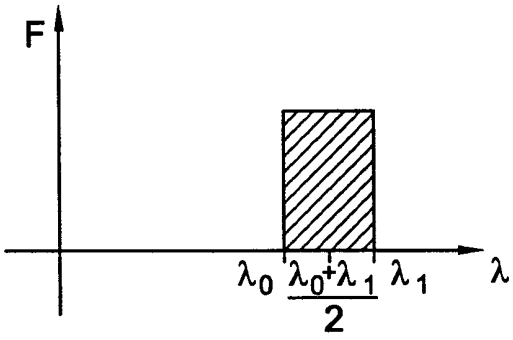


Fig. 5

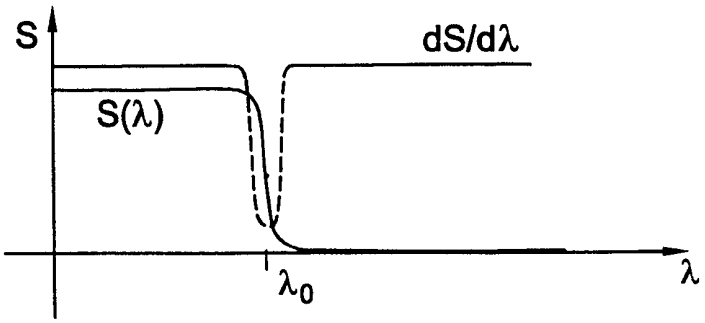


Fig. 6

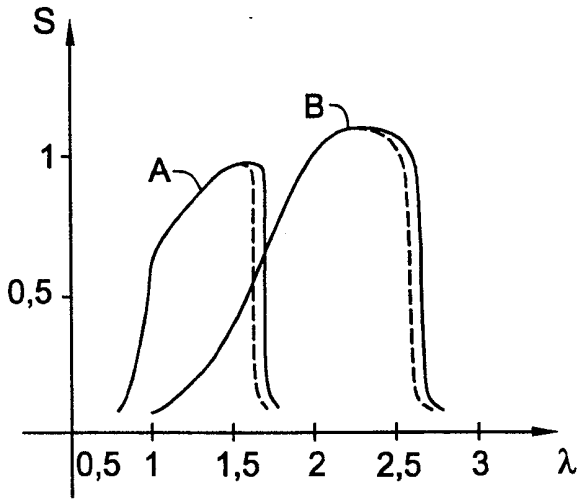


Fig. 7

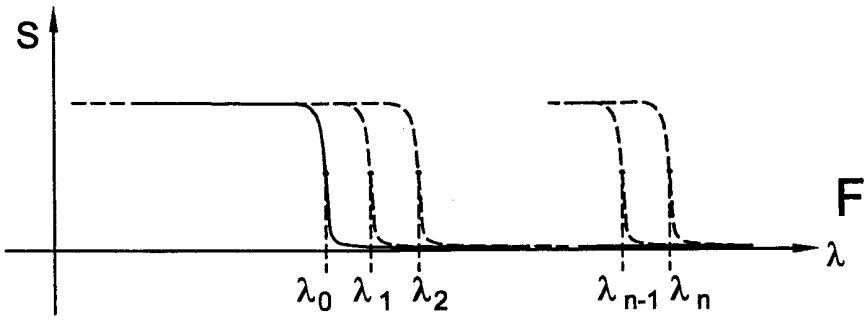


Fig. 8

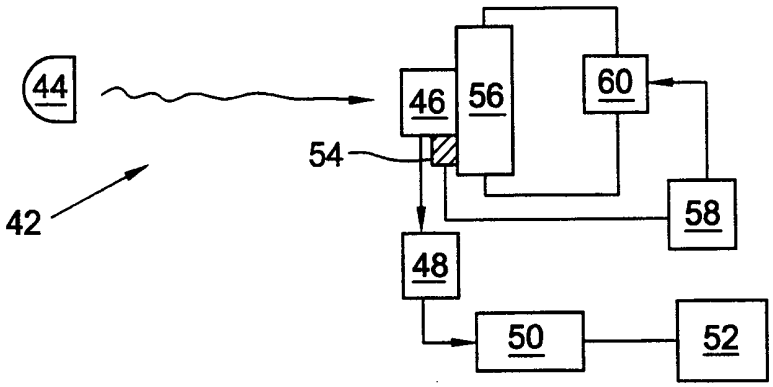


Fig. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Interr ıal Application No
PCT/EP 99/05365

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01N21/35 G01J5/20

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)
IPC 7 G01N G01J

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)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 0 608 049 A (VAISALA OY) 27 July 1994 (1994-07-27) cited in the application column 5, line 7 - line 46 figure 3	1-3,6,7, 12-14, 17-21, 24,30-33
A	---	8,25
Y	US 5 703 689 A (POWELL RONALD ALLAN) 30 December 1997 (1997-12-30) column 3, line 30 - line 58 column 7, line 1 - line 25	1-3,6,7, 12-14, 17-21, 24,30-33
A	---	8,11, 25-27
	-/--	

[X] Further documents are listed in the continuation of box C.

[X] Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"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)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"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

"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

"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.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
3 November 1999	10/11/1999

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Krametz, E

1

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Intern ıal Application No
PCT/EP 99/05365

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication,where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 819 923 A (BRITISH AEROSPACE) 21 January 1998 (1998-01-21) page 2, line 3 - line 4 page 2, line 45 - line 46	1-3,8, 11-14, 18,19, 25,26, 30,31
A	US 3 899 253 A (OVERHOFF MARIO W) 12 August 1975 (1975-08-12) column 5, line 32 - line 44	1,2,8, 12,13, 18,25,30

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

...ormation on patent family members

Intern ial Application No
PCT/EP 99/05365

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0608049 A	27-07-1994	FI 930127 A	14-07-1994
		JP 6241993 A	02-09-1994
		US 5646729 A	08-07-1997
US 5703689 A	30-12-1997	AU 707358 B	08-07-1999
		AU 2353497 A	18-12-1997
		DE 19724682 A	18-12-1997
		JP 10062238 A	06-03-1998
EP 0819923 A	21-01-1998	GB 2315548 A	04-02-1998
US 3899253 A	12-08-1975	NONE	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dem: Internationale No
PCT/EP 99/05365

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 G01N21/35 G01J5/20

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)
CIB 7 G01N G01J

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie °	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	EP 0 608 049 A (VAISALA OY) 27 juillet 1994 (1994-07-27) cité dans la demande colonne 5, ligne 7 - ligne 46 figure 3	1-3,6,7, 12-14, 17-21, 24,30-33
A		8,25

Y	US 5 703 689 A (POWELL RONALD ALLAN) 30 décembre 1997 (1997-12-30) colonne 3, ligne 30 - ligne 58 colonne 7, ligne 1 - ligne 25	1-3,6,7, 12-14, 17-21, 24,30-33
A		8,11, 25-27

	-/--	

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

° Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"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)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'inven tion revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'inven tion 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

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
3 novembre 1999	10/11/1999

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, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31–70) 340–3016	Krametz, E

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Deme Internationale No
PCT/EP 99/05365

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec,le cas échéant, l'indicationdes passages pertinents	no. des revendications visées
A	EP 0 819 923 A (BRITISH AEROSPACE) 21 janvier 1998 (1998-01-21) page 2, ligne 3 - ligne 4 page 2, ligne 45 - ligne 46 ---	1-3,8, 11-14, 18,19, 25,26, 30,31
A	US 3 899 253 A (OVERHOFF MARIO W) 12 août 1975 (1975-08-12) colonne 5, ligne 32 - ligne 44 -----	1,2,8, 12,13, 18,25,30

1

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs au... membres de familles de brevets

Dema Internationale No
PCT/EP 99/05365

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0608049 A	27-07-1994	FI 930127 A	14-07-1994
		JP 6241993 A	02-09-1994
		US 5646729 A	08-07-1997
US 5703689 A	30-12-1997	AU 707358 B	08-07-1999
		AU 2353497 A	18-12-1997
		DE 19724682 A	18-12-1997
		JP 10062238 A	06-03-1998
EP 0819923 A	21-01-1998	GB 2315548 A	04-02-1998
US 3899253 A	12-08-1975	AUCUN	