

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication : .  
(à n'utiliser que pour les commandes de reproduction)

2 644 797

(21) N° d'enregistrement national : 90 03632

(51) Int Cl<sup>5</sup> : C 23 C 16/52; G 01 J 3/443; G 01 K 11/30.

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 21 mars 1990.

(71) Demandeur(s) : GENERAL ELECTRIC COMPANY. — US.

(30) Priorité : US, 27 mars 1989, n° 329,054.

(72) Inventeur(s) : Carl Murray Penney; Tushar Shashikant Chande.

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 39 du 28 septembre 1990.

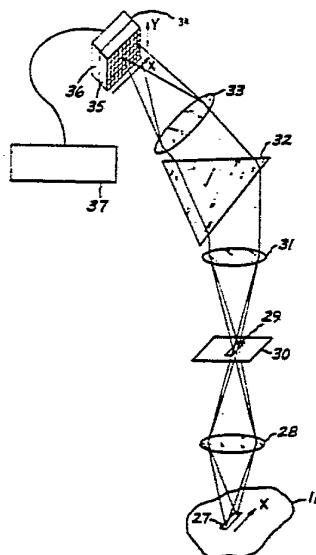
(73) Titulaire(s) :

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

(74) Mandataire(s) : Alain Catherine, General Electric France.

(54) Procédé et système de mesure et contrôle de température pour des processus photothermiques.

(57) La température d'une surface subissant un processus thermique assisté par rayonnement est détectée par observation de l'émission thermique en provenance de cette surface 11, et utilisée pour commander le processus. De préférence, la partie située du côté du bleu du spectre d'émission thermique est détectée pour déterminer la température de surface d'une pièce pendant un processus tel qu'un dépôt chimique en phase vapeur assisté par laser, et utilisé pour contrôler cette température. Le système de mesure de température comprend des moyens 28 pour focaliser l'émission thermique de la pièce, un spectromètre 32 pour séparer la lumière de plus courte longueur d'onde, et un système à comptage de photons 34 pour détecter cette lumière et produire un signal de température de surface. Le détecteur à comptage de photons est du type multicanal et est associé à un intensificateur d'image 35.



FR 2 644 797 - A1

PROCÉDÉ ET SYSTÈME DE MESURE ET CONTRÔLE DE TEMPÉRATURE  
POUR DES PROCESSUS PHOTOTHERMIQUES

La présente invention concerne la détermination de la température de surface pendant des processus associés à des rayonnements et provoqués thermiquement et l'utilisation de cette mesure pour commander le processus, et plus particulièrement 5 l'utilisation d'une émission thermique de courte longueur d'onde pour mesurer et contrôler une température pendant un processus de dépôt chimique en phase vapeur (CVD).

Dans le cadre de dépôts chimiques en phase vapeur provoqués par un laser (LCVD) fonctionnant en impulsion ou en 10 continu, dans des applications où le dépôt est provoqué par un chauffage laser de la surface, la quantité de chauffage ne peut être calculée en raison des changements d'absorption et d'émissivité de la surface tandis qu'elle est modifiée par le dépôt. De même, en raison de la variation inconnue de l'émissivité avec la 15 longueur d'onde, une thermographie infrarouge classique ne peut fournir de mesure précise de température. De nombreux autres moyens de détermination de température, tels par exemple ceux qui utilisent des thermocouples sont rendus imprécis par les fortes variations de propriétés spatiales et/ou temporelles dans le 20 faisceau laser. Des mesures de température sont néanmoins souhaitables, car il apparaît qu'elles fournissent le paramètre de commande le plus sensible pour de nombreux processus CVD.

La littérature et l'art antérieur connus dans le domaine du LCVD ne décrivent pas de tentatives pour contrôler la température de surface de la pièce en cours de traitement. De façon typique, les gaz sont introduits à une température connue 5 et la chambre de réaction est maintenue à une température constante pendant le LCVD.

Des systèmes de LCVD classiques comprennent une fenêtre dans un réacteur scellé à travers laquelle le faisceau laser est transmis vers une pièce à traiter dans la chambre. La fourniture 10 du faisceau laser par une fibre optique présente de nombreux avantages. Le gaz réactif peut être introduit au voisinage de la pièce au moyen d'une buse de gaz sur le coupleur de sortie de la fibre optique.

La plage des courtes longueurs d'onde de l'émission de 15 Planck, vers le bleu, est utilisée pour déterminer la température de surface d'une pièce pendant un processus provoqué thermiquement à l'aide d'une réaction dont un exemple est un dépôt chimique en phase vapeur (CVD) provoqué par un laser. On sait que cette composante de la répartition spectrale de l'émission 20 thermique varie beaucoup plus fortement avec la température qu'une émission de plus grande longueur d'onde davantage du côté du rouge. En conséquence, des variations inconnues d'émissivité introduiront une plus petite erreur dans la température résultante. Toutefois, le signal de détecteur reçu devient rapidement 25 plus faible quand la longueur d'onde choisie est déplacée vers le bleu, c'est-à-dire vers de plus courtes longueurs d'onde, et des photodétecteurs à état solide classiques moins sensibles ne peuvent être utilisés. Un élément de l'invention réside dans l'utilisation d'un système détecteur à comptage de photons pour 30 tirer avantage de la sensibilité réduite dans les mesures de température sur la base de l'observation de l'émission thermique au voisinage des plus courtes longueurs d'onde possibles.

L'invention se caractérise de façon générale comme un procédé de contrôle d'un processus CVD provoqué par rayonnement 35 comprenant les étapes consistant à fournir un rayonnement vers

une partie de la surface d'une pièce pour provoquer le dépôt d'un gaz chimique réactif sur la pièce par chauffage par rayonnement de la surface, à détecter la température de surface de la pièce résultant de ce rayonnement, et à utiliser la température détectée pour contrôler le rayonnement et le processus de dépôt.

5 Un appareil perfectionné pour un processus thermique provoqué par un rayonnement est constitué d'une source de rayonnement et de moyens pour fournir le rayonnement à la surface de la pièce, d'un système de mesure de température pour déterminer la température d'une partie de la surface en détectant l'émission thermique à partir de cette partie et en fournissant un signal de température de surface, et de moyens sensibles au signal de température pour commander la source de rayonnement et produire une température de surface de pièce prédéterminée.

10 15 Un mode de réalisation constituant un exemple de l'invention réside dans un appareil perfectionné pour réaliser un dépôt chimique en phase vapeur provoqué par un laser d'un réactif chimique gazeux. Un laser pour produire un faisceau laser est prévu ainsi que des moyens pour fournir l'énergie laser et chauffer la surface de la pièce. Un système de mesure de température est constitué de moyens pour focaliser l'émission thermique en provenance de la pièce, d'un spectromètre pour séparer la lumière de plus courte longueur d'onde du côté du bleu du spectre des autres composantes spectrales de l'émission thermique, et 20 25 d'un détecteur à comptage de photons pour détecter l'émission à plus courte longueur d'onde et produire un signal de température de surface. Des moyens sont prévus pour utiliser ce dernier signal pour commander le laser et la puissance du faisceau laser et produire une température de surface de pièce prédéterminée.

30 35 Un autre aspect de la présente invention réside dans un système de mesure de température de surface de pièce comprenant : des moyens pour focaliser le rayonnement thermique émis pendant un processus de dépôt chimique en phase vapeur, et définir un champ de visée ; des moyens de spectromètre pour séparer la lumière de plus courte longueur d'onde des autres composantes du

spectre d'émission thermique ; et un système à comptage de photons qui détecte l'émission thermique de plus courte longueur d'onde et produit un signal représentatif de la température de surface. Le détecteur à comptage de photons comprend typiquement 5 plusieurs canaux et est constitué d'un intensificateur d'image et d'un réseau photodétecteur linéaire ou bidimensionnel, le premier quand des points de mesure sont pris, et le deuxième pour fournir des mesures de points multiples le long d'une ligne. Un autre mode de réalisation à canal unique comprend un photomultipli-10 cateur pour détecter, par une technique de comptage de photon, la lumière de plus courte longueur d'onde transmise par un filtre interférentiel.

Des modes de réalisation particuliers du système de détermination de température de surface comprennent : des moyens 15 pour focaliser l'émission thermique et définir l'emplacement de la source d'émission thermique ou définir le champ de visée ; des moyens pour collimater et disperser l'émission thermique en longueurs d'onde et couleurs composantes, par exemple en utilisant un prisme ou un réseau optique ; un système photodétecteur 20 multicanal constitué d'un intensificateur d'image et d'un réseau photodétecteur à état solide pour produire dans chaque canal un signal dépendant de l'intensité de la composante reçue de la répartition spectrale ; et des moyens pour sélectionner le ou les canaux recevant l'émission de plus courte longueur d'onde et 25 fournir le signal de détecteur respectif qui est indicatif de la température de surface de la pièce. Le photodétecteur est une barrette ou un réseau bidimensionnel dans des appareils pour déterminer respectivement la température d'une tache lumineuse et d'une ligne sur la surface de la pièce.

30 Ces objets, caractéristiques et avantages ainsi que d'autres de la présente invention seront expliqués plus en détail dans la description suivante de modes de réalisation particuliers faite en relation avec les figures jointes parmi lesquelles :

la figure 1 représente la variation du facteur G détermi-35 nant la précision de mesure de température à partir du produit de la longueur d'onde et de la température ;

la figure 2 est un schéma d'un système de mesure de température de taches utilisant une barrette photodéTECTrice intensifiée ;

5 la figure 3 représente schématiquement un système à comptage de photons d'un intensificateur d'image et d'une barrette photodéTECTrice ; la moitié supérieure du premier comprend un intensificateur à plaque à micro-canaux et la moitié inférieure représente un simple intensificateur électrostatique ;

10 la figure 4 représente un système de mesure de température de ligne utilisant un réseau détecteur bidimensionnel ;

la figure 5 représente un autre système de mesure de température ponctuelle comprenant un filtre interférentiel pour laisser passer le rayonnement thermique de courte longueur d'onde vers un photomultiplicateur ;

15 la figure 6 représente un appareil de dépôt chimique en phase vapeur à laser et une commande de température améliorée utilisant l'émission thermique de courte longueur d'onde.

La figure 1 illustre le fait qu'une plus petite erreur de température se produit s'il existe des variations inconnues 20 d'émissivité quand la région de courte longueur d'onde de l'émission thermique est observée pour déterminer la température. La figure 1 est extraite de la figure 4 de l'article de D.P. DeWitt, Optical Engineering, Volume 25, N° 4, 596-601. La figure illustre un facteur appelé ici G qui est le rapport du changement fractionnel de l'intensité de rayonnement spectral résultant d'un changement fractionnel de température, en fonction de la longueur 25 d'onde (pour une température donnée). La signification de ce rapport peut être obtenue de la façon suivante ; la relation de base entre l'intensité de signal S dans un canal de longueur d'onde particulier à partir d'une surface à une température T 30 est :

$$S_\lambda = K_\lambda e_\lambda L_{\lambda,b}(T) \quad (1)$$

ou, en supprimant les indices,

$$S = K e L(T) \quad (1')$$

où  $L(T)$  est le spectre de rayonnement du corps noir pour une longueur d'onde  $\lambda$  et une température  $T$ ,  $e$  est l'émissivité, et  $K$  est une fonction de la longueur d'onde décrivant les performances du système optique qui est connue à partir de mesures d'étalonnage. Le rayonnement thermique est typiquement séparé en couleurs composantes et il existe alors une pluralité de canaux de longueurs d'ondes.

Une mesure de température typique fournira un signal  $S_\lambda$  pour chaque canal de longueur d'onde mais les signaux en provenance de canaux situés du côté du bleu de la répartition spectrale détectée peuvent être trop faibles pour une détermination précise en raison du bruit intrinsèque ou bruit de fond. On appelle  $S$  le signal en provenance du premier canal en allant du bleu au rouge le long du spectre d'émission thermique qui comprend un signal résultant de cette émission qui est notablement au-dessus du niveau du bruit. Une valeur de la température peut être calculée à partir de ce signal si l'émissivité est connue, puisque  $e$  et  $L$  sont les seuls quantités non mesurées dans l'équation et  $L$  est connu à partir de la théorie en fonction de  $\lambda$  et  $T$ . Dans cet exemple, on suppose qu'aucune valeur précise de l'émissivité n'est disponible. En conséquence, on souhaite rendre la détermination de température aussi insensible que possible à l'émissivité. La détermination est effectuée en prenant par hypothèse une valeur d'émissivité  $e_g$  qui est placée dans l'équation (1').

$$S = Ke_g L(Tg) \quad (2)$$

Cette équation est résolue pour obtenir la valeur approchée de la température estimée  $Tg$ . Pour obtenir l'erreur fractionnelle dans ce résultat ( $(T-Tg)/T$ ) résultant d'une erreur dans la valeur de  $e$ ,

$$\Delta e = e - e_g \quad (3)$$

l'expression de  $S$  en provenance de l'équation (1') peut être placée dans l'équation (2) :

$$eL(T) = e_g L(Tg) \quad (4)$$

et un développement de Taylor du premier ordre peut être utilisé

$$L(T) = L(T_g) + wDT \quad (5)$$

où  $w = \left| \frac{dL}{dT} \right|_T$ , et  $DT = T - T_g$ .

Alors, à partir des équations (3), (4) et (5),

$$\frac{(T-T_g)}{T_g} = \left( \frac{D_e}{e} \right) \left( \frac{1}{G} \right) \quad (6)$$

- 5 où les petits termes d'ordres plus élevés ont été négligés comme cela est usuel dans une analyse linéarisée.

Ainsi, le pourcentage d'erreur de température est égal au pourcentage d'erreur d'émissivité divisé par  $G$  qui a été précédemment défini. Il s'ensuit qu'une grande valeur de  $G$  est souhaitable car cela fournit la plus petite erreur de mesure de température. A partir de la figure 1, il est clair que la valeur de  $G$  augmente constamment tandis que l'on fait des mesures vers le bleu (valeur décroissante de  $\lambda T$  dans la gamme de 500 à 1000  $\mu\text{m.K}$ ). Toutefois, le signal devient également rapidement plus faible tandis que la longueur d'onde se déplace vers le bleu. Les appareils de mesure de température de l'art antérieur basés sur l'observation de l'émission thermique ont typiquement utilisé des détecteurs à état solide qui étaient environ mille fois moins sensibles que les détecteurs à comptage de photons proposés ici. L'utilisation de détecteurs moins sensibles empêche de tirer complètement avantage de la sensibilité réduite à l'émissivité dans les mesures de température. En conséquence, un aspect de l'invention réside dans l'utilisation de détecteurs multi-canaux à comptage de photons pour accroître la précision et la vérification de la mesure de température. Un autre aspect de l'invention réside dans l'utilisation de réseaux détecteurs à comptage de photons bidimensionnels pour tirer avantage de mesures multiples de température le long d'une ligne. Des configurations propres à atteindre ces buts sont illustrées en figures 30 2 et 5 pour une mesure ponctuelle et en figure 4 pour des mesures ponctuelles multiples le long d'une ligne. Les réseaux détecteurs optiques à comptage de photons linéaires et bidimensionnels requis pour ces mesures sont actuellement disponibles commercialement.

Un exemple de l'avantage que l'on peut tirer à utiliser des appareils à comptage de photons peut être donné en considérant un problème typique d'une application proposée : des mesures de température sont requises sur une surface d'émissivité inconnue avec une résolution temporelle d'une milliseconde et une résolution spatiale de  $20 \times 20$  micromètres. La température approchée de la surface est de  $1000^\circ\text{C}$ . En utilisant le mode de réalisation de la figure 2, le nombre N de photons détectés dans un canal à analyseur optique multi-canal est donné par :

$$N = (\pi \eta \tau \epsilon T / 4(hc/\lambda)) (Ax^2 y D^2 / F^2) L \quad (7)$$

où  $\eta$  est le rendement quantique du détecteur (comptages par photons incidents sur le canal du détecteur),  $\tau$  est la durée d'exposition,  $h$  est la constante de Planck,  $c$  est la vitesse de lumière,  $D$  est le diamètre effectif du collimateur du spectro-mètre,  $F$  est la distance focale du collimateur de mise au point,  $A$  est la dispersion inverse du prisme (ou réseau dans un spectro-mètre à réseau),  $x$  est la dimension d'un détecteur individuel dans la direction de la dispersion,  $y$  est la dimension orthogonale correspondante,  $T$  est le rendement optique, et les autres quantités sont telles que définies précédemment. Des suppositions techniques raisonnables pour un canal spectral proche de 600 nm sont :

$$x = y = 20 \text{ } \mu\text{m} = 2 \times 10^{-3} \text{ cm}$$

$$\eta = 0,1$$

$$25 \quad hc/\lambda = 3 \times 10^{-19} \text{ joules}$$

$$e = 0,2$$

D = 2,5 cm

$$F = 10 \text{ cm}$$

$$A = 5 \times 10^3 \text{ nm/radian}$$

30 T = 0,2

Bien que le niveau de signal dépende de la résolution spatiale, cette dépendance n'apparaît pas explicitement dans l'équation car la résolution spatiale est finalement déterminée par la dimension du point image du détecteur et le grossissement de l'optique d'entrée. Avec les valeurs ci-dessus, une résolution

de 0,2 millimètre est obtenue pour une distance de travail d'environ 1 mètre. De même, le niveau de signal dépend de façon inverse de la résolution spectrale de chaque canal, mais cette quantité n'est pas représentée explicitement. La résolution spectrale R est donnée par

$$R = A \lambda / F \quad (8)$$

et dans ce cas est de 1 nm. En utilisant les valeurs ci-dessus et l'émission spectrale pour un corps noir à 1000°C, on trouve que N = 10 pour  $\lambda = 600$  nm. En supposant que ces comptages sont des photons détectés selon la statistique de Poisson, la variation moyenne dans cette mesure est S.D. =  $\sqrt{10}/10 = 31\%$ , et il sera raisonnable de s'attendre à une erreur comparable ou plus grande due à l'incertitude sur l'émissivité. Toutefois, on notera que, à 1000°C et pour une longueur d'onde de 0,6 μm,  $\lambda T$  est égal à 0,76 et, à partir de la figure 1, que le facteur G est approximativement égal à 20. Ainsi, une mesure effectuée avec une sensibilité de comptage de photons du côté du bleu de la courbe de Planck est caractérisée par une mesure de température seulement 20 fois plus faible que l'incertitude totale, ou 1,5 % dans ce cas. Au contraire, une mesure effectuée avec un réseau détecteur à état solide non intensifié qui est d'environ 1000 fois moins sensible que le dispositif à comptage de photons, serait limitée à des longueurs d'onde supérieures à 1,6 micromètre dans ces conditions de mesure. En ce cas, selon la figure 1, G=7 et l'erreur sur la température sera trois fois plus grande.

Des appareils du type à filtre à comptage de photons à un ou quelques canaux, tels que ceux représentés en figure 5, peuvent être rendus beaucoup plus sensibles qu'un spectromètre et fournir des avantages comparables par rapport aux appareils correspondants moins sensibles qui sont actuellement couramment utilisés pour des mesures de température.

Les canaux multiples dans un détecteur à canaux multiples peuvent être utilisés pour augmenter encore la précision de la mesure de température. Par exemple, l'émissivité ne peut être supérieure à 1, de sorte que toute bande d'erreur du côté du bleu

qui comprend des valeurs de température pour lesquelles l'émissivité devrait être supérieure à 1 pour une longueur plus grande pour tenir compte du signal observé, pourrait être rétrécie pour éliminer ces températures. Toutefois, un autre avantage des canaux multiples, en nombre supérieur à deux ou trois canaux actuellement utilisés dans certains appareils est de permettre des mesures de température sur une large gamme. Cet avantage est atteint car l'indication de température plus précise est obtenue à partir des quelques premiers canaux du côté du bleu pour voir un signal, et ce groupe de canaux se décale rapidement avec la température. Par exemple, si la température de surface est réduite à 900°C, les premiers canaux à fournir un signal utile seront proches de 670 nm plutôt que de 600 nm. On notera que pour une résolution supposée de 1 nm par canal, ce décalage est presque de 70 canaux. Un autre avantage de l'utilisation d'un détecteur multicanal résulte de sa capacité à confirmer que le spectre observé est caractéristique de l'émission thermique. Cette capacité permet d'éviter des erreurs qui seraient introduites en utilisant des données contenant, par exemple des raies d'absorption ou d'émission.

Le système de mesure de température de la figure 2 détermine la température d'une tache 10 sur une surface observée 11 en utilisant un photodétecteur à barrette intensifiée. La surface peut être sur une pièce se trouvant dans un réacteur scellé dans lequel est réalisé un processus de CVD ou un processus de CVD provoqué par laser. L'émissivité de la surface chaude n'est pas connue et change tandis qu'elle est modifiée par le dépôt. Le rayonnement thermique émis par la pièce, en particulier à partir de la tache 10 sur la surface 11 est recueilli et focalisé par un objectif de caméra 12. Pour définir l'emplacement de la source pour l'émission thermique ou la limite de champ de visée du système, un diaphragme en trou d'épingle 13 dans une plaque 14 est localisé au point focal de la lentille. L'émission thermique focalisée passant par le trou d'épingle est collimatée par un objectif de collimation 15 et le faisceau lumineux paral-

lèle sortant tombe sur un prisme optique 16 qui disperse et sépare la lumière en longueurs d'ondes et couleurs composantes. Puisque l'indice de réfraction des matériaux optiques varie avec la longueur d'onde, les diverses longueurs d'onde présentes dans 5 la lumière sont déviées d'angles différents. L'émission thermique vers le bleu est déviée seulement d'une petite quantité par rapport à l'émission thermique vers le rouge du spectre d'émission thermique.

Les longueurs d'onde composantes sortant du prisme 16  
10 sont transmises par un objectif de focalisation 17 et focalisées sur différents canaux d'un système à comptage de photons multi-canal, dans ce cas une barrette photodéTECTrice intensifiée 18 constituée d'un intensificateur d'image 19 et d'une barrette photodéTECTrice à état solide 20. La lumière focalisée du côté du  
15 bleu du spectre est reçue par un groupe connu de canaux du détecteur à barrette 18 et la lumière se trouvant plus du côté du rouge est détectée par un autre groupe de canaux, comme cela est indiqué dans la figure. La barrette photodéTECTrice 20 est analysée à intervalles donnés et la forme d'onde de tension lue 21  
20 est envoyée à un module électronique 22 pour analyse. Chaque canal du détecteur à barrette intensifié 18 produit un signal de détecteur dont l'amplitude dépend de l'intensité de la composante reçue du spectre d'émission thermique. Le module électronique sélectionne le ou les canaux recevant de la lumière de plus  
25 courte longueur d'onde du côté du bleu et fournit le signal de détecteur respectif qui est indicatif de la température de surface de la pièce. D'autres fonctions du module électronique ont été décrites.

Le détecteur à barrette intensifié 18 et l'intensificateur d'image 19 sont représentés plus en détail en figure 3. Un intensificateur d'image est également appelé amplificateur de lumière et est un dispositif qui, quand il reçoit une image lumineuse, reproduit une image similaire de luminosité accrue et peut fonctionner à de très faibles niveaux lumineux sans introduire de variations parasites de luminosité dans l'image repro-

duite. Deux types d'intensificateur d'image sont représentés ; d'autres types peuvent être utilisés pour mettre en œuvre l'invention. La moitié inférieure de la figure représente un simple intensificateur d'image focalisé électrostatiquement. La 5 lumière frappe une photocathode semitransparente 23 qui émet des électrons 24 de répartition de densité proportionnelle à la répartition d'intensité lumineuse incidente. Un écran phosphorescent chargé positivement 25 de l'autre côté de l'intensificateur convertit l'énergie électronique en lumière visible. La 10 moitié supérieure représente un intensificateur d'image à plaque à microcanaux qui comprend un faisceau parallèle de petits cylindres de verre creux 26, où les parois internes des cylindres sont revêtues d'un matériau à émission secondaire. Les électrons émis à partir de la photocathode 23 frappent les parois internes 15 des cylindres 26, provoquant une génération d'électrons secondaires. Les électrons secondaires continuent eux-mêmes à se transmettre en cascade le long des parois internes des cylindres vers l'écran phosphorescent 25 d'où il résulte un gain élevé en courant total. Le réseau détecteur à circuit intégré 20 est 20 constitué d'un grand nombre de lignes parallèles de zones photosensibles individuelles et des circuits nécessaires pour lire individuellement les cellules. Des dispositifs à transfert de charge (CCD), des dispositifs à injection de charge (CID) et des technologies à photodiodes bipolaires peuvent être utilisés. En 25 gros, environ 1000 photons sont nécessaires pour fournir un signal mesurable. Ainsi, un intensificateur d'image fournit un gain utile de 1000 permettra de détecter des photons isolés.

La figure 4 représente un système de mesure de température pour effectuer des mesures de température de ligne en 30 utilisant un réseau détecteur intensifié bidimensionnel. Les températures de surface de points multiples le long d'une ligne 27 sur la surface observée 11 sont déterminées. L'émission thermique en provenance de la pluralité de points sur la surface chaude est focalisée par un objectif photographique 28 sur une 35 fente 29 dans une plaque 30 qui définit le champ du système.

L'émission thermique focalisée passant par la fente est présentée à un objectif collimateur 31. Le faisceau lumineux parallèle est dispersé en longueurs d'onde et couleurs composantes par un prisme optique 32, et les diverses couleurs sont focalisées par 5 un objectif 33 sur un détecteur à réseau bidimensionnel intensifié 34 qui est constitué d'un intensificateur d'image 35 et d'un réseau photodétecteur bidimensionnel à état solide 36.

Le système optique est tel que le rayonnement optique provenant de points se trouvant sur la ligne 27 dans la direction 10 x est détecté au niveau de canaux séparés selon la dimension x du réseau détecteur bidimensionnel intensifié 34. Les longueurs d'onde composantes  $\lambda$  de l'émission thermique s'étalent le long des canaux dans la direction orthogonale comme cela est représenté dans la figure. Le système électronique 37 analyse des 15 signaux lus du détecteur, canal vertical par canal vertical, et sélectionne le canal recevant la plus courte longueur d'onde du côté du bleu, et fournit ce signal de détecteur qui est une indication de la température de surface de la pièce en un point donné de la ligne 27. Ceci est effectué pour chaque point de la ligne.

20 Dans les modes de réalisation des figures 2 et 4, un spectromètre à prisme est utilisé pour séparer le faisceau lumineux en ses couleurs composantes et séparer les longueurs d'onde qui sont présentes dans le faisceau lumineux. Un réseau de diffraction peut être utilisé comme spectromètre au lieu d'un 25 prisme en tant que moyen pour disperser le faisceau lumineux en son spectre. Si le pas du réseau est connu, alors, à partir d'une mesure de l'angle de déviation de toute longueur d'onde, la valeur de cette longueur d'onde peut être calculée. Le système de mesure de température ponctuelle de la figure 5 comprend un 30 spectromètre à un seul canal sous forme d'un filtre interférentiel, et un système de comptage de photons à un seul canal est constitué d'un tube multiplicateur. L'émission thermique en provenance d'un point 10 sur la surface observée 11 est focalisée par un objectif photographique 38 et passe par un trou d'épingle 35 39 dans un diaphragme 40 qui sert à définir et à limiter le champ

du système de mesure de température. Des rayons parallèles en provenance d'un objectif de collimation 38' frappent un filtre interférentiel 41 qui laisse passer une lumière de longueur d'onde particulière, du côté du bleu. Un photomultiplicateur 42 5 détecte les photons lumineux incidents et a une tension de sortie qui dépend du nombre de photons et de l'intensité de la lumière reçue. Pour fournir une version multicanal de ce système (non représentée ici), le filtre interférentiel peut être incliné pour isoler les canaux de couleur où il peut y avoir plus d'un 10 filtre. Il existe une pluralité de détecteurs à photomultiplicateur, un pour chaque canal de couleur. On se référera au brevet des Etats-Unis d'Amérique 4 081 215 dont la description sera considérée ici comme connue.

Le contrôle de température pour le dépôt chimique en phase vapeur provoqué par laser en utilisant une émission thermique dans le domaine des courtes longueurs d'onde est illustré en figure 6. Il s'agit d'un processus dans lequel un faisceau laser chauffe la surface et facilite le dépôt de réactifs chimiques gazeux sur la pièce. Un système LCVD typique 20 de l'art antérieur est représenté ici. Une pièce 43 est disposée dans un réacteur scellé 44 comprenant une entrée de gaz réactif 45, une sortie 46 et une jauge de pression 47. Une fenêtre 48 propre à la transmission d'un faisceau laser et une fenêtre d'observation 49 pour observer la pièce sont prévues. Un laser 50 25 produit un faisceau laser collimaté 51 qui est réfléchi par un miroir 52 et focalisé par un objectif 53. Le faisceau laser passe par la fenêtre 48 et est focalisé en une tache sur la surface de la pièce 43. Le dépôt assisté par laser des réactifs chimiques gazeux sur la pièce prend place ou bien par un processus de 30 photolyse dans lequel le faisceau laser amène les molécules du réactif gazeux à se dissocier et à réagir avec le matériau du substrat ou bien par un processus de pyrolyse dans lequel le faisceau laser chauffe le substrat et le réactif gazeux réagit directement avec le substrat.

Le contrôle de température est réalisé en utilisant un système de mesure de température 54 selon l'invention pour déterminer en continu la température de surface de la pièce. Le signal de température provoqué par le système est fourni aux commandes 5 55 du laser qui commandent le laser 50 et la puissance du faisceau pour régler la température de surface à une valeur pré-déterminée. A titre de variante, le faisceau laser peut être fourni à la pièce par une fibre optique.

Certaines des nombreuses applications de l'invention 10 consistent en la détermination et le contrôle de température pendant le dépôt chimique en phase vapeur assisté par laser en impulsions d'oxyde, de nitrure ou de carbure sur des surfaces d'acier.

L'invention s'applique à d'autres processus thermiques 15 assistés par rayonnement qui sont également appelés processus photothermiques. Des exemples en sont le traitement thermique d'une surface pour amener les composants de la surface à diffuser dans le matériau et des processus pour recristalliser une surface.

20 Bien que la présente invention ait été décrite dans le cadre de modes de réalisation particuliers et d'applications spécifiques, l'homme de l'art pourra envisager diverses variantes et modifications.

REVENDICATIONS

1. Procédé de contrôle d'un processus de dépôt chimique en phase vapeur assisté par un rayonnement, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes suivantes :

fournir un rayonnement sur une partie de la surface 5 d'une pièce (11) pour provoquer le dépôt de réactif chimique gazeux sur la pièce par chauffage par rayonnement ;

déetecter la température de surface de la pièce résultant de ce rayonnement ; et

utiliser la température de surface détectée pour 10 contrôler le rayonnement et le processus de dépôt.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la détection comprend la détection de l'émission thermique en provenance de la pièce du côté des courtes longueurs d'onde du spectre d'émission thermique et la fourniture à partir de là d'un 15 signal de température de surface.

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que le rayonnement est un rayonnement laser et en ce que l'étape d'utilisation consiste à utiliser le signal de température pour commander un laser et la puissance d'un faisceau laser pour 20 produire une température de surface prédéterminée de la pièce.

4. Appareil pour réaliser un processus thermique assisté par rayonnement sur une pièce, caractérisé en ce qu'il comprend :

une source de rayonnement (50) et des moyens pour 25 fournir le rayonnement à la surface de la pièce (43) ;

un système de mesure de température (54) pour déterminer la température de surface d'une partie de la pièce en détectant l'émission thermique en provenance de cette partie et en fournissant à partir de là un signal de température ; et

des moyens (55) sensibles au signal de température pour commander la source de rayonnement pour produire une température de surface de pièce prédéterminée.

5. Appareil selon la revendication 4, caractérisé en ce que la source de rayonnement est un laser et le système de mesure de température est constitué de moyens pour séparer l'émission thermique de plus courte longueur d'onde des autres composantes spectrales et des moyens détecteurs à comptage de photons pour détecter l'émission thermique de plus courte longueur d'onde et 10 produire le signal de température.

6. Appareil pour réaliser un dépôt chimique en phase vapeur assisté par laser d'un réactif chimique gazeux sur une pièce, comprenant un laser pour produire un faisceau laser et des moyens pour fournir l'énergie laser de façon à chauffer la 15 surface de la pièce, caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

un système de mesure de température constitué de moyens pour focaliser l'émission thermique en provenance de la pièce et définissant un champ de visée pour le système, un spectromètre (16) pour séparer la lumière de plus courte longueur d'onde du 20 côté du bleu du spectre d'émission thermique des autres composantes spectrales, et un détecteur à comptage de photons pour détecter l'émission thermique de plus courte longueur d'onde et produire un signal de température de surface ; et

25 des moyens sensibles au signal de température pour contrôler le laser et la puissance du faisceau laser pour produire une température de surface de pièce prédéterminée.

7. Appareil selon la revendication 6, caractérisé en ce que le spectromètre comprend des moyens pour séparer l'émission thermique en longueurs d'onde composantes, et le détecteur à 30 comptage de photons comprend des canaux multiples pour détecter une pluralité de composantes spectrales.

8. Appareil selon la revendication 6, caractérisé en ce que le spectromètre est constitué d'un prisme optique (16) et sépare l'émission thermique en longueurs d'onde et couleurs 35 composantes et le détecteur à comptage de photons est constitué

d'un intensificateur d'image (19) et d'un réseau photodéTECTeur à état solide.

9. Appareil selon la revendication 6, caractérisé en ce que la température d'un tache sur la surface de la pièce est mesurée, en ce que les moyens pour définir le champ de visée sont constitués d'une plaque (14) munie d'un trou d'épingle (13) à travers lequel l'émission thermique focalisée passe, le spectromètre est constitué de moyens (15) pour collimater l'émission thermique et d'un prisme optique (16), et le détecteur de comptage de photons est constitué d'un intensificateur d'image (19) et d'une barrette photodéTECTrice (20).

10. Appareil selon la revendication 6, caractérisé en ce que la température de plusieurs points en ligne sur la surface de la pièce est mesurée, en ce que les moyens pour définir le champ de visée comprennent une plaque (30) munie d'une fente (29) à travers laquelle passe l'émission thermique focalisée, le spectromètre est constitué de moyens (31) pour collimater l'émission thermique et d'un prisme optique (32), et le détecteur à comptage de photons est constitué d'un intensificateur d'image (35) et d'un réseau photodéTECTeur bidimensionnel (36).

11. Appareil selon la revendication 6, caractérisé en ce que le spectromètre comprend un filtre interférentiel (41) qui laisse passer la lumière de plus courte longueur d'onde, et en ce que le détecteur à comptage de photons est un photomultiplificateur (42).

12. Système de mesure de la température de surface d'une pièce dans un réacteur, caractérisé en ce qu'il comprend :  
des moyens pour focaliser le rayonnement thermique émis par la pièce (43) pendant un processus de dépôt chimique en phase vapeur, et pour définir le champ de visée du système ;  
des moyens de spectromètre pour séparer la lumière de plus courte longueur d'onde des autres composantes du spectre d'émission thermique ; et

un système à comptage de photons pour détecter l'émission thermique de plus courte longueur d'onde et produire un signal représentatif de la température de surface de la pièce.

13. Système selon la revendication 12, caractérisé en  
5 ce que le système de comptage de photons comprend plusieurs canaux et est constitué d'un intensificateur d'image et, d'un réseau photodétecteur à état solide.

14. Système selon la revendication 12, caractérisé en  
ce que le système à comptage de photons comprend un photomulti-  
10 plificateur.

15. Système selon la revendication 12, caractérisé en  
ce que les moyens pour séparer la lumière de plus courte longueur  
d'onde sont un filtre interférentiel et le système de comptage de  
photons comprend un photomultiplicateur.

16. Système de mesure de la température de surface  
d'une pièce pendant un processus de dépôt chimique en phase  
vapeur assisté par laser, caractérisé en ce qu'il comprend :

des moyens pour focaliser l'émission thermique de la  
pièce et définir le champ du système ;

20 des moyens pour collimater et disperser l'émission  
thermique en longueurs d'onde et couleurs composantes ;

un système à comptage de photons multicanal constitué  
d'un intensificateur d'image et d'un réseau photodétecteur à état  
solide pour produire dans chaque canal un signal de détecteur qui  
25 dépend de l'intensité de la composante reçue du spectre d'émis-  
sion thermique ; et

des moyens pour sélectionner le canal recevant la  
lumière de plus courte longueur d'onde du côté du bleu et fournir  
le signal de détecteur respectif qui est indicatif de la tempéra-  
30 ture de surface de la pièce.

17. Système selon la revendication 16, caractérisé en  
ce que les moyens pour disperser l'émission thermique sont un  
prisme optique.

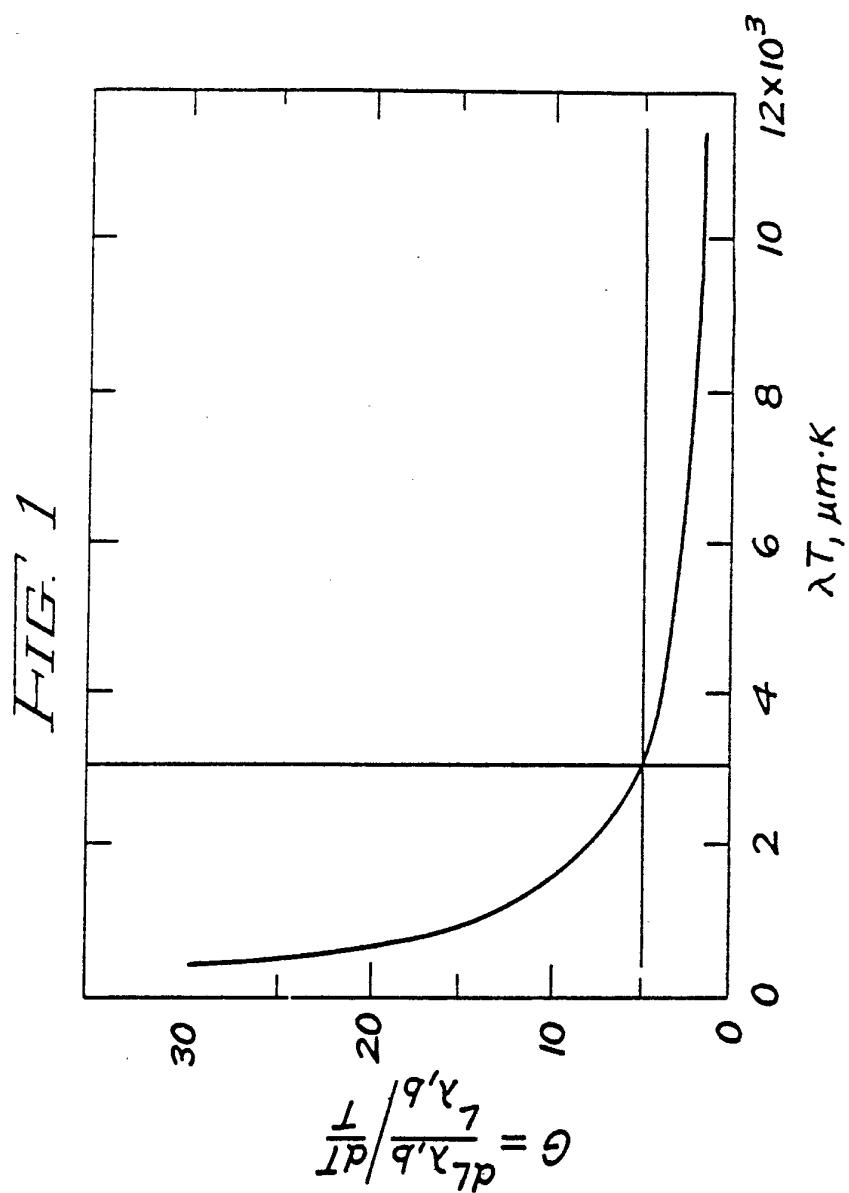
18. Système selon la revendication 16, caractérisé en  
35 ce que la température d'un point de la surface de la pièce est

mesurée, les moyens pour définir le champ de visée étant une plaque comprenant un trou d'épinglé et le photodétecteur étant une barrette.

19. Système selon la revendication 16, caractérisé en  
5 ce que la température d'une ligne à la surface de la pièce est mesurée, les moyens pour définir le champ de visée sont une plaque définissant une fente à travers laquelle passe l'émission thermique focalisée, et le photodétecteur est un réseau bidimensionnel.

2644797

P1 I - 5



PI II - 5

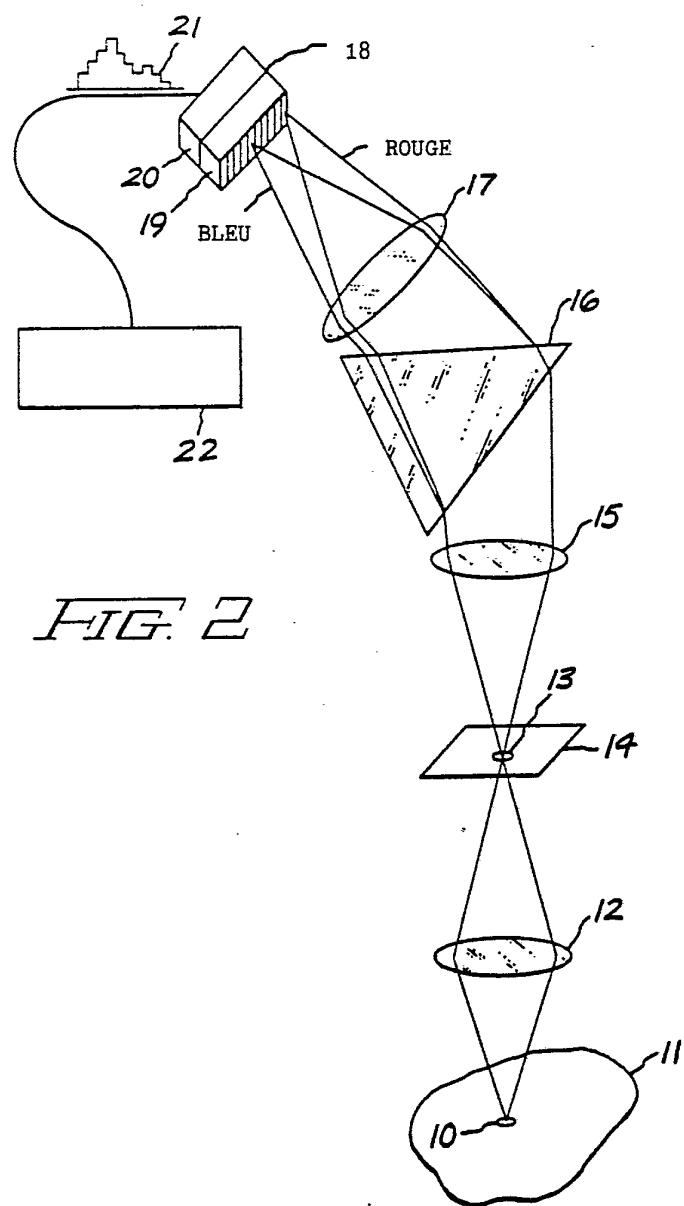


FIG. 2

2544797

P1 III - 5

FIG. 5

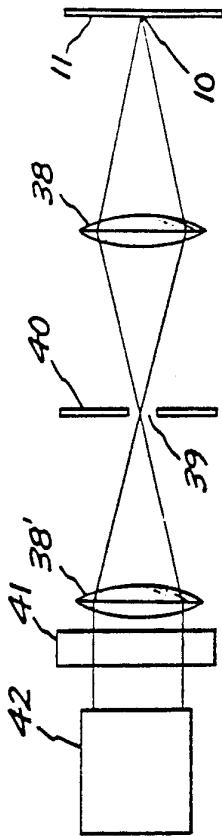
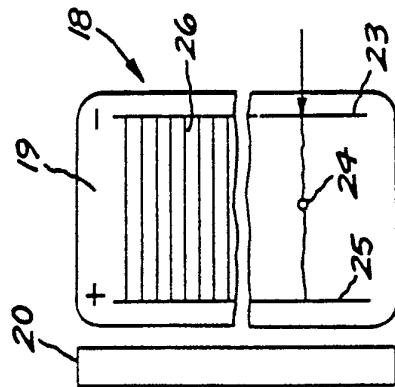


FIG. 3



P1 IV - 5

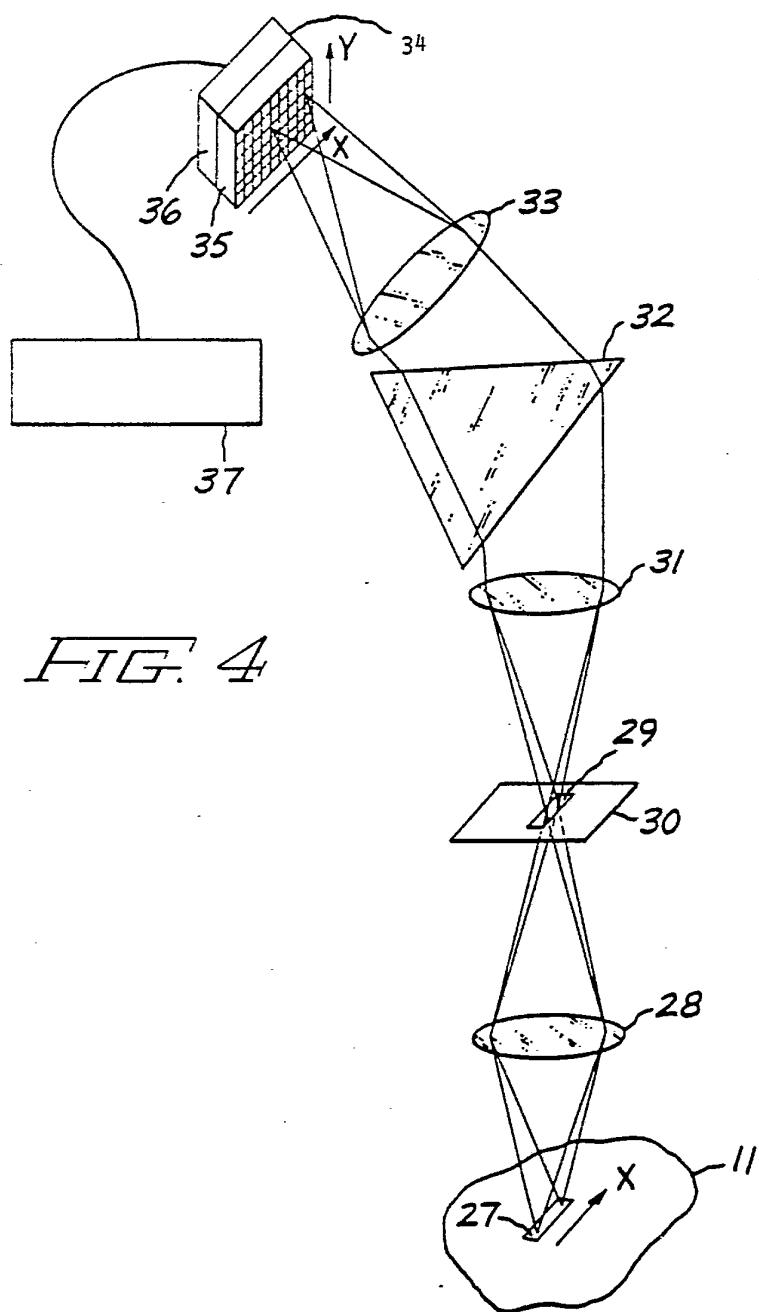


FIG. 4

2644797

P1 V - 5

