

A1

**DEMANDE
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

N° 81 20840

(54) Dispositif et procédé pour mesurer les déformations déformateurs de surface d'onde introduites par un système optique.

(51) Classification internationale (Int. Cl.³). G 01 J 9/00 // G 01 M 11/00.

(22) Date de dépôt..... 6 novembre 1981.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée :

(41) Date de la mise à la disposition du
public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 19 du 13-5-1983.

(71) Déposant : COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE, établissement de caractère technique scientifique et industriel. — FR.

(72) Invention de : Bernard Picard.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Brevatome,
25, rue de Ponthieu, 75008 Paris.

La présente invention a pour objet un dispositif et un procédé permettant de mesurer les déformations de surface d'onde introduites par un système optique et notamment par un objectif, ces déformations étant principalement liées à la fonction de transfert du système optique en éclairage cohérent. Cette mesure est effectuée à partir de l'étude de la transmission, par le système optique, d'ondes lumineuses sinusoïdales et cohérentes.

On va brièvement rappeler le principe d'une telle mesure.

En lumière cohérente, l'image d'une répartition sinusoïdale d'intensité, fournie par un système optique, est une répartition sinusoïdale d'intensité de même amplitude mais de phase différente. La phase φ de la répartition sinusoïdale image dépend de la qualité de transmission du système optique. Cette phase φ qui définit la fonction de transfert du système optique en éclairage cohérent dépend d'un coefficient Δ qui caractérise les déformations de surface d'onde introduites par le système optique et qui dépend, lui-même, de la fréquence temporelle ψ de l'onde lumineuse.

La définition du coefficient Δ est illustrée par la figure 1. Sur cette figure Σ_0 et Σ représentent respectivement la surface d'onde de référence et la surface d'onde réelle de l'onde lumineuse transmise par le système optique. Dans le cas où on aurait affaire à un système optique parfait, c'est-à-dire sans aberration, la surface d'onde Σ et la surface d'onde Σ_0 seraient confondues. La surface d'onde de référence Σ_0 peut être définie comme étant la sphère centrée par le point image A et tangente à la pupille de sortie P du système optique.

Soit une droite d faisant un angle θ avec un axe x représentant la direction de propagation de l'onde lumineuse. Cette droite d coupe la surface d'onde de référence Σ_0 en un point I et la surface d'onde réelle Σ en un point J. La valeur algébrique \overline{IJ} représente le coefficient Δ .

Pour une longueur d'onde lumineuse donnée λ , la fréquence temporelle ν de l'onde transmise par le système optique est définie par la relation $= \frac{\sin \theta}{\lambda}$ et la phase $\varphi(\nu)$ de cette onde est définie par $\varphi(\nu) = \frac{2\pi \Delta(\nu)}{\lambda}$

Les dispositifs connus jusqu'à ce jour ne permettent pas de déterminer directement le coefficient $\Delta(\nu)$ d'un système optique et donc de déterminer directement les déformations de surfaces d'onde introduites par celui-ci ; la détermination de ces déformations, au moyen des dispositifs de l'art antérieur est très complexe à effectuer.

La présente invention a justement pour objet un dispositif et un procédé permettant de remédier à ces inconvénients. De mise en oeuvre simple, elle permet la détermination directe des déformations de surface d'onde introduites par un système optique.

De façon plus précise, l'invention a pour objet un dispositif permettant de mesurer les déformations de surface d'onde introduites par un système optique, comprenant au moins un objectif. Ce dispositif se caractérise en ce qu'il comprend :

- des moyens susceptibles d'émettre un faisceau principal de lumière monochromatique et cohérente de fréquence temporelle ν_0 ;
- une cellule de Bragg susceptible de recevoir au moins un faisceau en provenance des moyens d'émission, cette cellule étant excitée par des ondes radiofréquences émises par un générateur radiofréquence de façon à émettre un faisceau de référence

- et un faisceau de mesure présentant des fréquences temporelles différentes ;
- des moyens permettant d'envoyer le faisceau de référence et le faisceau de mesure, issus de la cellule de Bragg, en direction du système optique à tester ;
 - des moyens de détection aptes à transformer le signal lumineux issu du système optique en un signal électrique de fréquence égale à la différence des fréquences temporelles des faisceaux émis par la cellule de Bragg et dont la phase φ est caractéristique des déformations de surface d'onde introduites par ledit système ; et,
 - des moyens permettant de mesurer le déphasage entre la phase du signal électrique émis par les moyens de détection et la phase d'un signal électrique correspondant aux ondes radiofréquences servant à exciter la cellule de Bragg.

Le dispositif de l'invention permet, contrairement aux dispositifs connus, la détermination directe des déformations de surface d'onde introduites par un système optique qui peut être un simple objectif. Cette détermination se fait de façon simple et de façon précise puisque la mesure du déphasage entre deux signaux électriques est une mesure simple et qui peut être effectuée avec une grande précision. De plus, la simplicité de la mesure réside dans l'utilisation d'une lumière monochromatique et cohérente.

Il est à noter que le dispositif de l'invention, contrairement au dispositif de l'art antérieur, ne comporte aucun élément mécanique mobile.

Selon une première variante de réalisation du dispositif de l'invention, la cellule de Bragg est excitée par deux ondes radiofréquences de fréquences différentes de façon à engendrer ; par diffraction du faisceau principal, le faisceau de référence et le

faisceau de mesure.

Selon une deuxième variante de réalisation du dispositif de l'invention, celui-ci comprend des moyens permettant de séparer le faisceau principal en un faisceau de référence et en un faisceau de mesure et la cellule de Bragg est excitée par une seule onde radiofréquence de façon à transmettre directement le faisceau de référence et à transmettre par diffraction le faisceau de mesure.

Selon un mode préféré de réalisation du dispositif de l'invention, celui-ci comprend, de plus, une fente située dans le plan image du système optique à tester.

Selon un autre mode préféré de réalisation du dispositif de l'invention, les moyens permettant d'envoyer les faisceaux de référence et de mesure en direction du système optique à tester sont constitués d'au moins une lentille convergente.

Selon un autre mode préféré de réalisation du dispositif de l'invention, celui-ci comprend, de plus, après les moyens de séparation, des moyens permettant de renvoyer le faisceau de mesure en direction de la cellule de Bragg, ce faisceau ayant été dévié par les moyens de séparation.

Selon un autre mode préféré de réalisation du dispositif de l'invention, les moyens émettant le faisceau principal de lumière monochromatique et cohérente sont constitués par un laser.

L'invention a aussi pour objet un procédé de mesure des déformations de surface d'onde introduites par un système optique utilisant le dispositif tel que décrit précédemment. Ce procédé se caractérise en ce qu'il consiste à :

- diriger sur la cellule de Bragg au moins un faisceau de lumière monochromatique et cohérente, cette cel-

lule, excitée par des ondes radiofréquences émises par un générateur radiofréquence, étant apte à émettre un faisceau de référence et un faisceau de mesure présentant des fréquences temporelles différentes ;

- envoyer sur le système optique à tester le faisceau de référence et le faisceau de mesure issus de ladite cellule ;

- détecter le signal lumineux issu du système optique au moyen d'un détecteur apte à transformer ce signal lumineux en un signal électrique de fréquence égale à la différence des fréquences temporelles des faisceaux émis par la cellule de Bragg et dont la phase φ est caractéristique des déformations de surface d'onde introduites par ledit système ; et,

- mesurer le déphasage entre la phase du signal électrique émis par le détecteur et la phase d'un signal électrique correspondant aux ondes radiofréquences servant à exciter la cellule de Bragg.

Selon une première variante de mise en oeuvre du procédé de l'invention, on envoie sur la cellule de Bragg un faisceau lumineux principal et on excite ladite cellule au moyen de deux ondes radiofréquences de fréquences différentes de façon à engendrer le faisceau de référence et le faisceau de mesure par diffraction du faisceau principal.

Selon une deuxième variante de mise en oeuvre du procédé de l'invention, on envoie sur la cellule de Bragg le faisceau de référence et le faisceau de mesure et on excite ladite cellule au moyen d'une seule onde radiofréquence de façon à transmettre directement le faisceau de référence et à transmettre le faisceau de mesure par diffraction.

Selon un mode préféré de mise en oeuvre du procédé de l'invention, avant de mesurer les déforma-

tions de surface d'onde introduites par le système optique à tester, on étalonne le dispositif en déterminant l'évolution de la phase du signal électrique émis par le détecteur, cet étalonnage étant fait en l'absence du système optique à tester et en plaçant la fente directement dans le plan image de la lentille.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront mieux de la description qui va suivre, donnée à titre illustratif mais non limitatif, en référence aux figures annexées sur lesquelles :

- la figure 1, déjà décrite, définit les déformations de surface d'onde introduites par un système optique,

- la figure 2 représente, schématiquement, une première variante du dispositif de l'invention.

- la figure 3 représente, schématiquement, une deuxième variante du dispositif de l'invention.

Sur la figure 2, on a représenté une première variante du dispositif de l'invention. Ce dispositif comprend, notamment, une source lumineuse 2 susceptible d'émettre un faisceau principal de lumière 4 monochromatique et cohérente de fréquence temporelle ν_0 , qui peut être par exemple un laser, et des moyens tels qu'un cube séparateur 6, permettant de séparer le faisceau de lumière 4 en deux faisceaux lumineux, un faisceau de référence 8 et un faisceau de mesure 10.

Ce dispositif comprend, de plus, selon l'invention, une cellule de Bragg 12 susceptible de recevoir les deux faisceaux lumineux 8 et 10, le faisceau de mesure 10, dévié par les moyens de séparation 6, étant renvoyé en direction de la cellule au moyen d'un miroir réfléchissant tel que 14. Cette cellule de Bragg, ou cellule acousto-optique, est faite en un cristal de quartz couplé à un transducteur piézoélec-

trique. Dans cette variante, la cellule de Bragg peut être excitée par des ondes radiofréquences de fréquence f , émises par un générateur radiofréquence 16. Cette cellule 12 excitée peut transmettre directement le faisceau de référence 8, ce faisceau 8 présentant, alors, la fréquence temporelle ν_0 , et diffracter le faisceau de mesure 10, ce faisceau 10 présentant, alors, une fréquence temporelle $\nu_0 + f$, f étant la fréquence d'excitation de la cellule.

La diffraction du faisceau de mesure 10 est obtenue par une modification de l'indice de réfraction de la cellule, consécutive aux ondes radiofréquences excitant ladite cellule. Les traits représentés dans la cellule de Bragg représentent les plans de vibration ou plans d'onde du cristal au niveau desquels peut être diffracté le faisceau de mesure 10.

La valeur de la fréquence f d'excitation de la cellule, donc celle de la fréquence spatiale peut être modifiée de façon continue par action directe sur le générateur radiofréquence 16. Cette fréquence spatiale ν peut varier dans une gamme de valeurs comprise entre 0 et ν_c , ν_c représentant la fréquence de coupure du système optique 18 que l'on désire tester, ce système optique pouvant être un simple objectif.

Sur la figure 3, on a représenté une deuxième variante du dispositif de l'invention. Ce dispositif comprend comme précédemment une source lumineuse 2 susceptible d'émettre un faisceau principal de lumière 4 monochromatique et cohérente de fréquence temporelle ν_0 , qui peut être par exemple un laser, et une cellule de Bragg 12.

Dans cette variante la cellule de Bragg 12 qui est susceptible de recevoir directement le faisceau principal de lumière 4, est excitée par deux ondes radiofréquences émises par un générateur radiofré-

quence 16. L'une de ces ondes présente une fréquence fixe f_0 , l'autre une fréquence pouvant être modifiée de façon continue. La cellule de Bragg 12, ainsi excitée, peut émettre par diffraction du faisceau principal 4 un premier faisceau 8 servant de faisceau de référence et présentant une fréquence temporelle $\nu_0 + f_0$ et un deuxième faisceau lumineux servant de faisceau de mesure 10 et présentant une fréquence temporelle $\nu_0 + f$. La diffraction du faisceau principal 4 par la cellule de Bragg est obtenue comme précédemment.

Dans cette variante, l'onde radiofréquence, de fréquence variable f , est telle que $f_0 - \frac{\Delta f}{2} < f < f_0 + \frac{\Delta f}{2}$, Δf étant la bande passante de la cellule de Bragg.

Pour les deux variantes décrites ci-dessus, le dispositif de l'invention comprend, aussi, une lentille convergente 20 permettant d'envoyer le faisceau de référence 8 et le faisceau de mesure 10, issus de la cellule de Bragg, en direction du système optique 18. De plus, cette lentille 20 permet d'adapter les caractéristiques angulaires de la cellule de Bragg (angle de diffraction des faisceaux lumineux) en fonction de celles des système optiques à tester (angle θ).

Le dispositif de l'invention comprend, de plus, une fente 22 placée dans le plan image du système optique à étudier. Sur cette fente 22, un système de franges d'interférences sinusoïdales est formé à partir des deux faisceaux lumineux 8 et 10, transmis par le système optique 18. Etant donné que les deux faisceaux lumineux qui interfèrent ne présentent pas la même fréquence temporelle, ν_0 ou $\nu_0 + f_0$ pour le faisceau de référence 8, et $\nu_0 + f$ pour le faisceau de mesure 10, les franges d'interférences se translatent à une vitesse uniforme.

Le signal lumineux, résultant de la translation uniforme des franges d'interférence, peut être recueilli par un détecteur 24 qui transforme ce signal en un signal électrique de fréquence égale à la différence des fréquences temporelles des faisceaux lumineux 8 et 10, c'est-à-dire de fréquence f pour la première variante et de fréquence $f-f_0$ pour la deuxième. La phase φ de ce signal électrique est caractéristique des déformations de surface d'onde introduites par le système optique 18. Cette phase φ peut être mesurée par un dispositif 26, qui peut être par exemple un phasemètre, qui compare la phase du signal électrique délivré par le détecteur 24 et la phase d'un signal électrique correspondant aux ondes radiofréquences émises par le générateur radiofréquence 16. Le signal électrique correspondant aux ondes radiofréquences émises par le générateur 16 est engendré par le générateur lui-même.

La mesure des déformations de surface d'onde introduites par un système optique se fait comme décrit ci-dessus. Cependant, avant de mesurer ces déformations il est nécessaire d'effectuer un étalonnage du dispositif afin de s'assurer que la phase du signal électrique, délivrée par le détecteur 24, est bien la phase φ caractéristique du système optique que l'on étudie. Cet étalonnage consiste à mesurer l'évolution de la phase, introduite par le dispositif lui-même, en plaçant la fente 22 directement dans le plan image de la lentille convergente 20, et ce, en l'absence du système optique à étudier.

REVENDICATIONS

1. Dispositif de mesure des déformations de surface d'onde introduites par un système optique (18) comprenant au moins un objectif, caractérisé en ce qu'il comprend :
- 5 - des moyens (2) susceptibles d'émettre un faisceau principal de lumière (4) monochromatique et cohérente ;
 - 10 - une cellule de Bragg (12) susceptible de recevoir au moins un faisceau (4, 8, 10) en provenance des moyens d'émission (2), cette cellule étant excitée par des ondes radiofréquences émises par un générateur radiofréquence (16) de façon à émettre un faisceau de référence (8) et un faisceau de mesure (10) présentant des fréquences temporelles différentes ;
 - 15 - des moyens (20) permettant d'envoyer le faisceau de référence (8) et le faisceau de mesure (10), issus de la cellule de Bragg (12), en direction du système optique (18) à tester ;
 - 20 - des moyens de détection (24) aptes à transformer le signal lumineux issu du système optique (18) en un signal électrique de fréquence égale à la différence des fréquences temporelles des faisceaux (8, 10) émis par la cellule de Bragg (12) et dont la phase φ est caractéristique des déformations de surface d'onde introduites par ledit système ; et,
 - 25 - des moyens (26) permettant de mesurer le déphasage entre la phase du signal électrique émis par les moyens de détection (24) et la phase d'un signal électrique correspondant aux ondes radiofréquences servant à exciter la cellule de Bragg (12).
 - 30

2. Dispositif de mesure selon la revendication 1, caractérisé en ce que la cellule de Bragg (12)

est excitée par deux ondes radiofréquences de fréquences différentes de façon à engendrer, par diffraction du faisceau principal (4), le faisceau de référence (8) et le faisceau de mesure (10).

5 3. Dispositif de mesure selon la revendication 1, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens (6) permettant de séparer le faisceau principal (4) en un faisceau de référence (8) et en un faisceau de mesure (10) et en ce que la cellule de Bragg (12) est
10 excitée par une seule onde radiofréquence de façon à transmettre directement le faisceau de référence (8) et à transmettre par diffraction le faisceau de mesure (10).

15 4. Dispositif de mesure selon la revendication 3, caractérisé en ce que les moyens de séparation sont constitués par un cube séparateur (6).

20 5. Dispositif de mesure selon l'une quelconque des revendications 3 et 4, caractérisé en ce qu'il comprend, de plus, après les moyens de séparation (6), des moyens (14) permettant de renvoyer le faisceau de mesure (10) en direction de la cellule de Bragg (12), ce faisceau ayant été dévié par les moyens de séparation (6).

25 6. Dispositif de mesure selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'il comprend, de plus, une fente (22) située dans le plan image du système optique (18) à tester.

30 7. Dispositif de mesure selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que les moyens permettant d'envoyer les faisceaux de référence (8) et de mesure (10) en direction du système optique (18) à tester sont constitués d'au moins une lentille convergente (20).

35 8. Dispositif de mesure selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que

les moyens émettant le faisceau principal de lumière monochromatique et cohérente sont constitués par un laser (2).

5 9. Dispositif de mesure selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les moyens de mesure sont constitués par un phasemètre (26).

10 10. Procédé de mesure des déformations de surface d'onde introduites par un système optique (18) utilisant le dispositif selon l'une quelconque des revendications 6 à 9, caractérisé en ce qu'il consiste à :

- 15 - diriger sur la cellule de Bragg (12) au moins un faisceau (4, 8, 10) de lumière monochromatique et cohérente, cette cellule, excitée par des ondes radiofréquences émises par un générateur radiofréquence (16), étant apte à émettre un faisceau de référence (8) et un faisceau de mesure (10) présentant des fréquences temporelles différentes ;
- 20 - envoyer sur le système optique à tester (18) le faisceau de référence (8) et le faisceau de mesure (10) issus de ladite cellule (12) ;
- 25 - détecter le signal lumineux issu du système optique (18) au moyen d'un détecteur (24) apte à transformer ce signal lumineux en un signal électrique de fréquence égale à la différence des fréquences temporelles des faisceaux (8, 10) émis par la cellule de Bragg (12) et dont la phase φ est caractéristique des déformations de surface d'onde introduites par ledit système ; et,
- 30 - mesurer le déphasage entre la phase du signal électrique émis par le détecteur (24) et la phase d'un signal électrique correspondant aux ondes radiofréquences servant à exciter la cellule de Bragg.

35 11. Procédé de mesure selon la revendication

10, caractérisé en ce que l'on envoie sur la cellule de Bragg (12) un faisceau lumineux principal (4) et en ce que l'on excite ladite cellule au moyen de deux ondes radiofréquences de fréquences différentes de façon à engendrer le faisceau de référence (8) et le faisceau de mesure (10) par diffraction du faisceau principal (4).

12. Procédé de mesure selon la revendication 10, caractérisé en ce que l'on envoie sur la cellule de Bragg (12) le faisceau de référence (8) et le faisceau de mesure (10) et en ce que l'on excite ladite cellule au moyen d'une seule onde radiofréquence de façon à transmettre directement le faisceau de référence (8) et à transmettre le faisceau de mesure (10) par diffraction.

13. Procédé de mesure selon l'une quelconque des revendications 10 à 12, caractérisé en ce que l'on modifie de façon continue la fréquence des ondes radiofréquences par action directe sur le générateur radiofréquence (16).

14. Procédé de mesure selon l'une quelconque des revendications 10 à 13, caractérisé en ce que, avant de mesurer les déformations de surface d'onde introduites par le système optique à tester (18), on étalonne le dispositif en déterminant l'évolution de la phase du signal électrique émis par le détecteur (24), cet étalonnage étant fait en l'absence du système optique à tester et en plaçant la fente (22) directement dans le plan image de la lentille convergente (20).

1/2

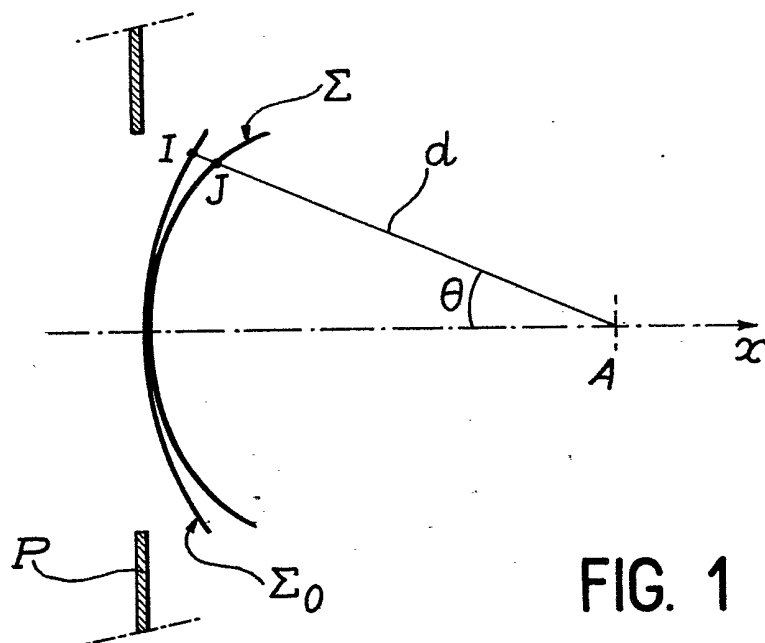
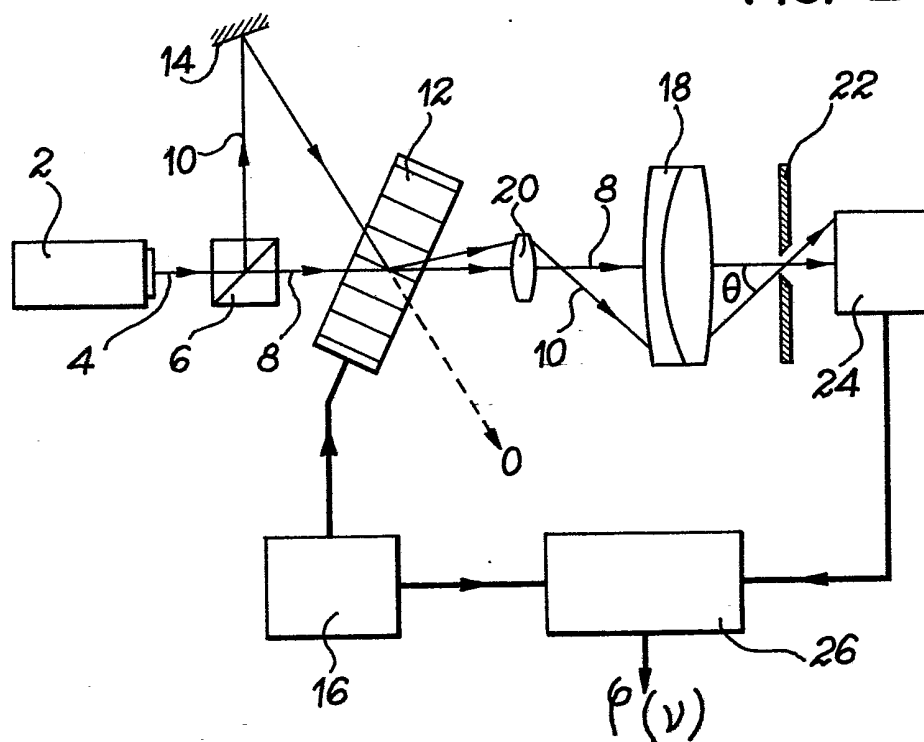


FIG. 1

FIG. 2



2/2

FIG. 3

