

PROCEDE DE DETECTION DE LA FRACTURE D'UN SUBSTRAT FRAGILISE PAR IMPLANTATION D'ESPECES ATOMIQUES

5 **DOMAINE DE L'INVENTION**

La présente invention concerne la détection de la fracture (« splitting » selon la terminologie anglo-saxonne) d'un substrat préalablement fragilisé par une implantation d'espèces atomiques, et son application à la surveillance d'un traitement thermique appliqué audit substrat pour provoquer ladite fracture.

10

ETAT DE LA TECHNIQUE

Le procédé Smart Cut™ permet de transférer une couche d'un premier substrat, dit substrat donneur, vers un second substrat, dit substrat receveur.

15 A cet effet, le procédé comprend une étape d'implantation d'espèces atomiques dans le substrat donneur, de sorte à y former une zone de fragilisation située à une profondeur correspondant à l'épaisseur de la couche à transférer. Lesdites espèces atomiques sont typiquement de l'hydrogène et/ou de l'hélium. Au niveau de la zone de fragilisation, les espèces implantées créent des défauts nommés « micro-fissures », se présentant sous la forme de cavités s'étendant dans un plan parallèle à la surface
20 principale du substrat donneur.

Le substrat donneur est ensuite assemblé au substrat receveur.

Une étape de fracture thermique est ensuite mise en œuvre, dans laquelle on porte la plaque résultant de l'assemblage du substrat donneur et du substrat receveur à une température suffisamment élevée pour permettre le développement des micro-fissures. A
25 cet effet, la plaque est installée dans un four de recuit dont la température est contrôlée. Le recuit provoque une augmentation de la pression dans les cavités, jusqu'à la fracture du substrat donneur le long de la zone de fragilisation. Une fois que la fracture a été initiée en une région de la zone de fragilisation, elle se propage de manière quasi instantanée le long de ladite zone. Par quasi instantanée, on entend que la durée de la
30 fracture est de l'ordre de 100 µs pour un substrat de 300 mm de diamètre.

Après la fracture, les deux parties de la plaque restent en contact l'une de l'autre de part et d'autre du plan de fracture.

La plaque est déchargée du four de recuit en vue de la séparation des deux parties de la plaque. La séparation est par exemple effectuée par insertion d'une lame entre les
35 deux parties.

Généralement, ce procédé est mis en œuvre par lot, chaque lot comprenant une pluralité de plaques qui sont placées ensemble dans le four de recuit.

La détection de la fracture est un paramètre important du procédé de transfert de couche.

En effet, on cherche généralement à minimiser le budget thermique de recuit en stoppant le recuit dès que la fracture s'est produite pour l'ensemble du lot, afin d'éviter
5 d'endommager les plaques avec un budget thermique trop élevé, et optimiser le rendement du four de recuit.

Par ailleurs, il peut arriver que, malgré l'application du budget thermique prévu, la fracture ne se produise pas pour une ou plusieurs plaques d'un même lot. Une telle situation peut perturber la réalisation de l'étape de séparation, qui est généralement automatisée, en provoquant un blocage de la machine de séparation. Il est donc
10 souhaitable de pouvoir détecter si une plaque ne s'est pas fracturée, afin de pouvoir isoler le lot de fabrication concerné pour le traiter manuellement et ne pas perturber la suite du procédé.

A cet effet, le document FR 2 902 926 propose d'équiper le support qui maintient la
15 plaque dans le four de recuit d'un capteur piézoélectrique. Lors de la fracture, la vibration engendrée au sein de la plaque est transmise au capteur piézoélectrique et convertie en un signal électrique qui est enregistré par un contrôleur du four de recuit. Un traitement de ce signal permet de détecter des pics caractéristiques d'une fracture.

Cependant, l'utilisation d'un tel capteur piézoélectrique pose un certain nombre de
20 problèmes.

D'une part, il est indispensable d'avoir une liaison mécanique entre la plaque et le capteur pour que celui-ci puisse détecter la fracture. Or, selon le type d'équipement employé, il peut être difficile d'assurer une telle liaison mécanique. En effet, dans certains fours, les nacelles contenant les substrats sont déposées directement en contact avec la
25 paroi du four qui est susceptible de transmettre les vibrations engendrées par des fractures mais aussi par des chocs liés à son environnement. Ces configurations sont donc défavorables pour la détection de la fracture car elles ne contiennent pas de support adapté pour les capteurs piézoélectriques. En outre, le capteur ne peut généralement pas être placé directement dans le four lui-même au contact des nacelles
30 ou des substrats en raison de limitations quant à la température qu'il peut supporter et aux contaminations qu'il est susceptible de générer sur les substrats.

D'autre part, il peut arriver qu'une plaque se casse ou soit endommagée pendant la fracture, ce qui est susceptible de perturber la séparation. Comme dans le cas où la fracture n'est pas intervenue, il est nécessaire d'isoler le lot concerné afin de le traiter
35 manuellement. Or, le capteur piézoélectrique n'est pas adapté pour détecter un tel événement. En effet, le choc induit par la rupture d'un substrat dépend de la taille et de la chute des morceaux sur le support, qui sont aléatoires.

Enfin, il a été montré que les caractéristiques du substrat après fracture (notamment sa rugosité) dépendent largement de l'énergie mécanique relâchée lors de la fracture. Il serait donc avantageux de pouvoir évaluer cette grandeur.

Cependant, le signal fourni par le capteur piézoélectrique ne permet pas facilement
5 de déterminer les caractéristiques de la fracture, par exemple son énergie ou sa durée.

Actuellement, on accède à cette énergie de manière très indirecte en tentant de corréler les caractéristiques de la surface fracturée à une énergie. Mais cela est complexe, car cela dépend du substrat et d'un grand nombre de paramètres non forcément contrôlés ou identifiés.

10 Une manière plus directe d'estimer l'énergie libérée lors de la fracture est de mesurer l'instant de la fracture à l'aide d'un capteur piézoélectrique susmentionné. On fait alors l'hypothèse que l'énergie libérée est uniquement fonction du budget thermique reçu par la plaque. Cependant, cette hypothèse n'est vraie qu'en première approximation. En effet, des plaques peuvent se fracturer au même moment mais en libérant des énergies
15 différentes à cause de mécanismes d'initiation différents.

EXPOSE DE L'INVENTION

Un but de l'invention est de remédier aux problèmes mentionnés et de concevoir un procédé permettant de détecter avec précision l'instant de fracture d'un substrat, et ce,
20 pour chaque substrat d'un lot présent dans le four de recuit.

Ce procédé doit également permettre de détecter qu'un substrat du lot ne s'est pas fracturé, ou qu'un substrat s'est cassé pendant la fracture.

A cet effet, l'invention propose un procédé de surveillance d'un traitement thermique appliqué à un substrat comprenant une zone de fragilisation formée par implantation
25 d'espèces atomiques en vue de fracturer ledit substrat le long de ladite zone de fragilisation, le substrat étant agencé dans une chambre de chauffage, caractérisé en ce qu'il comprend un enregistrement du son à l'intérieur ou au voisinage de la chambre de chauffage et la détection, dans ledit enregistrement, d'un son émis par le substrat lors de sa fracture le long de la zone de fragilisation.

30 Par « voisinage de la chambre de chauffage », on entend une zone suffisamment proche de la chambre pour que le son émis lors de la fracture puisse être détecté. La taille et l'emplacement de cette zone peuvent dépendre de l'environnement du four, mais l'homme du métier est à même, au moyen de quelques enregistrements sonores préalables, de vérifier qu'à l'emplacement prévu l'enregistrement soit de suffisamment
35 bonne qualité pour que le son de la fracture puisse y être détecté.

L'avantage de cet enregistrement sonore est que le son émis par le substrat lors de sa fracture est très spécifique et ne peut être confondu avec le son produit lors d'un autre événement dans l'environnement du four de recuit.

Par ailleurs, outre la simple détermination de l'instant auquel se produit la fracture, le son enregistré se prête à une analyse (par exemple spectre de fréquences, durée, intensité, etc.) qui permet de déterminer des grandeurs caractéristiques de la fracture, par exemple l'énergie libérée, la vitesse de fracture, la survenue d'une casse, etc.

5 Selon un premier mode de réalisation, ledit enregistrement est réalisé par un microphone agencé à l'intérieur de la chambre de chauffage.

Selon un deuxième mode de réalisation, ledit enregistrement est réalisé par un microphone agencé sur une paroi extérieure d'un four de recuit contenant ladite chambre de chauffage.

10 Selon un troisième mode de réalisation, ledit enregistrement est réalisé par un microphone agencé entre un écran thermique et une porte d'un four de recuit donnant accès à la chambre de chauffage.

Selon un quatrième mode de réalisation, ledit enregistrement est réalisé par un microphone agencé dans un tube débouchant à l'intérieur de la chambre de chauffage.

15 De manière avantageuse, ledit procédé comprend en outre, à partir de l'enregistrement du son à l'intérieur ou au voisinage de la chambre de chauffage, la détection d'une casse du substrat.

Dans une application dudit procédé, un lot de substrats à fracturer est chargé dans la chambre de chauffage, ledit procédé comprenant la détection, dans l'enregistrement
20 sonore, du son émis par chaque substrat lors de sa fracture.

Selon une forme d'exécution, le procédé comprend un enregistrement du son à l'intérieur ou au voisinage de la chambre de chauffage au moyen de deux microphones distants l'un de l'autre, et à partir d'un décalage temporel entre les sons de la fracture d'un substrat détectés dans l'enregistrement de chacun desdits microphones, la localisation au
25 sein du lot du substrat pour lequel la fracture s'est produite.

De préférence, lesdits microphones sont agencés dans des régions opposées de la chambre de chauffage.

De manière avantageuse, on arrête le traitement thermique dès que la fracture de chaque substrat du lot a été détectée.

30 Si, après une durée prédéterminée, le nombre de fractures détectées est inférieur au nombre de substrats, on décharge le lot en vue d'une séparation manuelle des substrats fracturés.

De manière avantageuse, on détermine, à partir d'une fréquence maximale du son généré par la fracture d'un substrat, une fréquence de vibration du substrat lors de la
35 fracture et on déduit de ladite fréquence de vibration une vitesse de fracture du substrat.

Par ailleurs, on peut déterminer, à partir de l'intensité du son généré par la fracture d'un substrat, une énergie libérée lors de ladite fracture.

On peut également déterminer la vitesse d'une onde de fracture se propageant dans un substrat à partir de la fréquence maximale correspondant au pic d'intensité sonore.

De préférence, le substrat comprend au moins un matériau semi-conducteur.

- 5 Un autre objet de l'invention concerne un dispositif pour le traitement thermique d'un lot de substrats à fracturer.

Ledit dispositif comprend un four de recuit comprenant une chambre de chauffage destinée à recevoir simultanément l'ensemble dudit lot, au moins un microphone configuré pour enregistrer les sons à l'intérieur ou au voisinage de la chambre de chauffage, et un système de traitement configuré pour détecter, à partir d'un
10 enregistrement sonore produit par ledit microphone, un son émis par une fracture d'un substrat.

Selon un mode de réalisation, le microphone est agencé dans un tube débouchant à l'intérieur de la chambre de chauffage.

- 15 De manière particulièrement avantageuse, le dispositif comprend au moins deux microphones distants l'un de l'autre.

Selon une forme d'exécution, le système de traitement est configuré pour, à partir d'un décalage temporel entre les sons de la fracture d'un substrat détectés dans l'enregistrement de chacun desdits microphones, localiser au sein du lot le substrat pour
20 lequel la fracture s'est produite.

De manière avantageuse, le dispositif comprend en outre un système de contrôle du four configuré pour stopper le traitement thermique dès que la fracture de l'ensemble des substrats du lot a été détectée.

25 DESCRIPTION DES FIGURES

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée qui va suivre, en référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une représentation de la signature acoustique de la fracture d'un substrat de silicium ;
- 30 - la figure 2 est un schéma de la mise en place d'un microphone selon un premier mode de réalisation à l'intérieur du four de recuit;
- la figure 3 est un schéma de la mise en place d'un microphone selon un deuxième mode de réalisation, sur la paroi extérieure du four de recuit ;
- la figure 4 est un schéma de la mise en place d'un microphone selon un troisième
35 mode de réalisation, entre la porte et l'écran thermique du four de recuit ;
- la figure 5 est un schéma de la mise en place d'un microphone selon un quatrième mode de réalisation, dans un tube en liaison fluide avec l'intérieur du four de recuit ;

- la figure 6 est un schéma de la mise en place de deux microphones selon un cinquième mode de réalisation, à deux emplacements opposés dans le four de recuit ;
- la figure 7 présente une courbe de calibration entre la fréquence des vibrations émises lors de la fracture (en Hz) et la vitesse de la fracture (en m/s).

5

DESCRIPTION DETAILLÉE DE MODES DE RÉALISATION DE L'INVENTION

La présente invention repose sur le fait que la fracture d'un substrat, notamment un substrat semi-conducteur, le long d'une zone de fragilisation préalablement formée par implantation d'espèces atomiques présente une signature acoustique spécifique, qui peut
10 donc être détectée au sein d'un enregistrement sonore dans ou au voisinage du four de traitement thermique dans lequel se trouve ledit substrat. Le substrat peut être seul ou assemblé à un autre substrat. Ce dernier cas s'applique notamment lorsque l'on souhaite transférer une couche dudit substrat sur l'autre substrat par le procédé Smart Cut™.

La figure 1 illustre la signature acoustique de la fracture d'un substrat de silicium, c'est-à-dire l'intensité sonore en fonction du temps détectée dans le four suite à la fracture
15 du substrat. L'unité de l'axe du temps est la seconde. Cette signature se présente sous la forme d'une augmentation brutale de l'intensité sonore puis une décroissance rapide, de type exponentiel, sur une durée de 1 à 2 s.

Une telle signature est spécifique d'une fracture, et ne peut être confondue avec la
20 signature d'autres événements susceptibles de se produire dans ou au voisinage du four de recuit.

Cette signature peut être obtenue avec tout microphone sensible à des fréquences de quelques dizaines de kHz, éventuellement adapté pour fonctionner à haute température selon l'emplacement prévu.

La détection de la fracture fournit au moins une information qualitative sur le
25 procédé de fracture (fracture ou non d'un substrat), voire quantitative comme cela sera exposé en détail plus bas.

Ainsi, les inventeurs sont allés à l'encontre de l'enseignement du document FR 2 902 926 selon lequel un enregistrement sonore n'est pas adapté à la détection de la
30 fracture d'un substrat, et ont au contraire démontré que l'on peut extraire du spectre sonore davantage d'informations qu'à partir du signal d'un capteur piézoélectrique en contact avec le substrat.

En particulier, de manière surprenante, alors que la fracture est quasiment instantanée (de l'ordre de 100 µs), le son provoqué par la fracture présente une durée
35 beaucoup plus importante, de l'ordre de 1 à 2 s. Ce phénomène semble s'expliquer par une oscillation induite du substrat de part et d'autre du plan de fracture, sous l'effet d'une différence entre la pression générée au sein des micro-fissures et la pression de gaz entourant le substrat.

Bien que le spectre sonore soit relativement complexe (composé de plusieurs fréquences), il présente une signature caractéristique de la fracture qui peut être détectée à l'aide d'un traitement du signal.

Les figures 2 à 6 illustrent différents modes de réalisation de l'invention.

- 5 Sur chacune de ces figures, la structure du four est identique et sera donc décrite une seule fois ici. Un même signe de référence utilisé d'une figure à l'autre désigne un élément identique ou remplissant la même fonction. Pour des raisons de lisibilité des figures, les différents éléments ne sont pas nécessairement représentés à l'échelle.

- Le four 1 présente une forme générale tubulaire s'étendant selon un axe horizontal.
- 10 La paroi intérieure 10 du four définit une chambre de chauffage 11 dans laquelle sont disposés les substrats S à fracturer. En général, le traitement thermique n'est pas réalisé pour un substrat unique mais pour un lot de substrats. A cet effet, les substrats sont rangés en position verticale dans une ou plusieurs nacelles 2 qui sont mises en place côte à côte dans le four. L'introduction des nacelles se fait par une porte 12 située à une
- 15 extrémité du tube. La porte 12 est isolée thermiquement de la chambre de chauffage 11 par un écran thermique 13. L'extrémité du tube opposée à la porte est généralement borgne. Des éléments chauffants 14 sont agencés autour de la paroi du four pour porter la chambre de chauffage à la température souhaitée pour la fracture. Par exemple, la température appliquée pour fracturer des substrats de silicium est généralement de l'ordre
- 20 de 100 à 500°C, de préférence 300 à 500°C.

L'homme du métier est naturellement en mesure d'adapter l'enseignement fourni ci-après à tout autre type de four.

L'étoile entourée de cercles symbolise l'occurrence d'une fracture dans un substrat et la propagation du son qui en résulte.

- 25 Quel que soit l'emplacement du microphone, celui-ci transmet les données enregistrées en temps réel à un poste de contrôle comprenant un ordinateur (désigné sur la figure 6 par le repère 4) permettant de traiter les enregistrements en implémentant à un logiciel de traitement du signal approprié. La transmission des données peut être effectuée de manière filaire ou sans fil, par tout protocole approprié.

- 30 Ledit poste de contrôle est avantageusement configuré pour, en fonction des résultats du traitement des données, déclencher un arrêt du four, ou émettre une alerte à l'attention d'un opérateur chargé de la surveillance du four.

- La figure 2 illustre un premier mode de réalisation, dans lequel un microphone 3 est agencé directement dans la chambre de chauffage 11. Pour cette application, on choisit
- 35 un microphone adapté aux hautes températures, c'est-à-dire tolérant des températures jusqu'à 300°C, voire 850°C, qui sont disponibles dans le commerce. Ainsi, le microphone est au plus près des substrats et est moins sensible aux bruits provoqués à l'extérieur du four.

De manière avantageuse, le microphone est placé sur la paroi opposée à la porte 12.

La figure 3 illustre un deuxième mode de réalisation, dans lequel un microphone 3 est agencé sur une paroi extérieure du four, par exemple à l'opposé de la porte 12. La
5 détection sonore est moins efficace mais suffisante pour la détection de la fracture d'un substrat. Par ailleurs, cette variante d'exécution permet de s'affranchir d'un microphone adapté aux hautes températures.

La figure 4 illustre un troisième mode de réalisation, dans lequel le microphone 3 est agencé entre la porte 12 et l'écran thermique 13 du four. Par rapport au premier mode de
10 réalisation, le microphone est soumis à des températures plus basses, mais il faut naturellement le choisir adapté à ces températures.

La figure 5 illustre un quatrième mode de réalisation, comprenant un montage particulier du microphone 3. Ce montage comprend un tube 30 de faible diamètre, correspondant sensiblement à la taille du microphone 3, par exemple de l'ordre de 1 à
15 5 mm. La longueur du tube est typiquement de l'ordre de 1 à 10 cm. Ledit tube 30 débouche dans la chambre de chauffage 11 au travers d'un trou percé dans la paroi du four, par exemple la paroi opposée à la porte 12. Ainsi, même si le microphone est en contact avec l'atmosphère du four, la dissipation thermique qui se produit le long du tube est suffisante pour garantir une température compatible avec le fonctionnement du
20 microphone, même si celui-ci n'est pas spécialement adapté aux hautes températures.

La figure 6 illustre un cinquième mode de réalisation, dans lequel deux microphones 3 sont agencés dans le four, chacun au voisinage d'une extrémité du tube. Chaque microphone enregistre les sons qui se produisent au sein de la chambre de chauffage 11. Lors du traitement des enregistrements transmis par chaque microphone, le décalage
25 temporel des signatures acoustiques d'un même événement permet d'estimer la localisation, au sein du lot, du substrat dans lequel a eu lieu la fracture. Il est ainsi possible de déterminer le substrat qui s'est fracturé.

Naturellement, les différents modes de réalisation décrits ci-dessus peuvent être combinés.

30 L'exploitation de la détection de la fracture d'un substrat peut prendre différentes formes.

D'une part, le comptage de l'ensemble des fractures détectées et la comparaison avec le nombre de substrats présents dans le four permet de vérifier si chaque substrat s'est bien fracturé. Dans cette hypothèse, il peut être avantageux de déclencher l'arrêt du
35 traitement thermique dès que le nombre de fractures détectées atteint le nombre de substrats, puisque le traitement thermique devient sans objet. On peut ainsi optimiser le temps de cycle, minimiser le budget thermique appliqué aux substrats et réduire la consommation d'énergie.

En revanche, si, à l'issue d'une durée prédéterminée du traitement thermique, le nombre de fractures détectées est inférieur au nombre de substrats, il est possible d'en déduire qu'un ou plusieurs substrats ne se sont pas fracturés. Dans un tel cas, il est préférable de ne pas envoyer ce lot sur une machine de séparation automatisée, car la présence d'un substrat non fracturé pourra provoquer un arrêt intempestif de la machine. On décharge donc le lot concerné en vue d'une séparation manuelle des substrats fracturés.

La casse d'un substrat ne se traduit pas nécessairement par une signature spécifique. En effet, le son produit lors d'une casse peut être lié à la chute de morceaux du substrat ou bien à la rupture du substrat et peut donc présenter des caractéristiques variables. Cependant, dans la mesure où le son produit par la fracture d'un substrat est bien identifié, tout autre son survenant dans la chambre peut être lié à une casse. Dans ce cas, il est avantageux de sortir le lot du four en vue de le traiter manuellement, afin qu'un substrat cassé ne vienne perturber le fonctionnement de la machine de séparation automatique. Avantagusement, l'intérieur du four est nettoyé avant l'introduction d'un nouveau lot de substrats à fracturer.

Par ailleurs, outre l'exploitation qualitative qui vient d'être décrite, les inventeurs ont mis en évidence une corrélation entre la fréquence sonore maximale correspondant au pic d'intensité et la vitesse de l'onde de fracture qui se propage dans le substrat. Cette corrélation est schématisée sur la figure 7, qui représente la relation entre la fréquence des vibrations émises (en Hz) et la vitesse de l'onde de fracture (en m/s). Grâce à une telle courbe, qui est construite au préalable pour un type de substrat donné et des conditions d'implantation déterminées, il est possible de déterminer, à partir de l'enregistrement sonore de chaque substrat, la vitesse de la fracture correspondante. Il est ensuite possible de vérifier l'homogénéité des caractéristiques de fracture au sein du lot.

Par ailleurs, l'énergie libérée lors de la fracture est directement proportionnelle à l'intensité sonore maximale détectée. Par conséquent, la variation relative de l'intensité sonore maximale et sa comparaison par rapport à la valeur moyenne détectée sur des substrats identiques permet d'estimer l'énergie libérée de la fracture du substrat, qui est un indicateur de la qualité de la fracture.

REFERENCES

FR 2 902 926

REVENDICATIONS

1. Procédé de surveillance d'un traitement thermique appliqué à un substrat comprenant une zone de fragilisation formée par implantation d'espèces atomiques en vue de fracturer ledit substrat le long de ladite zone de fragilisation, le substrat (S) étant agencé dans une chambre de chauffage (11), caractérisé en ce qu'il comprend un enregistrement du son à l'intérieur ou au voisinage de la chambre de chauffage (11) et la détection, dans ledit enregistrement, d'un son émis par le substrat lors de sa fracture le long de la zone de fragilisation.
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit enregistrement est réalisé par un microphone (3) agencé à l'intérieur de la chambre de chauffage (11).
3. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit enregistrement est réalisé par un microphone (3) agencé sur une paroi extérieure d'un four de recuit (1) contenant ladite chambre de chauffage (11).
4. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit enregistrement est réalisé par un microphone (3) agencé entre un écran thermique (13) et une porte (12) d'un four de recuit (1) donnant accès à la chambre de chauffage (11).
5. Procédé selon la revendication 1, dans lequel ledit enregistrement est réalisé par un microphone (3) agencé dans un tube (30) débouchant à l'intérieur de la chambre de chauffage (11).
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, comprenant en outre, à partir de l'enregistrement du son à l'intérieur ou au voisinage de la chambre de chauffage (11), la détection d'une casse du substrat.
7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, dans lequel un lot de substrats à fracturer est chargé dans la chambre de chauffage, ledit procédé comprenant la détection, dans l'enregistrement sonore, du son émis par chaque substrat lors de sa fracture.
8. Procédé selon la revendication 7, comprenant un enregistrement du son à l'intérieur ou au voisinage de la chambre de chauffage (11) au moyen de deux microphones (3) distants l'un de l'autre, et à partir d'un décalage temporel entre les sons de la fracture d'un substrat détectés dans l'enregistrement de chacun desdits

microphones, la localisation au sein du lot du substrat pour lequel la fracture s'est produite.

9. Procédé selon la revendication 8, dans lequel les microphones (3) sont
5 agencés dans des régions opposées de la chambre de chauffage (11).

10. Procédé selon l'une des revendications 7 à 9, dans lequel on arrête le traitement thermique dès que la fracture de chaque substrat a été détectée.

10 11. Procédé selon l'une des revendications 7 à 9, dans lequel, après une durée prédéterminée, le nombre de fractures détectées est inférieur au nombre de substrats, et on décharge le lot en vue d'une séparation manuelle des substrats fracturés.

12. Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, dans lequel on détermine, à
15 partir d'une fréquence maximale du son généré par la fracture d'un substrat, une fréquence de vibration du substrat lors de la fracture et on déduit de ladite fréquence de vibration une vitesse de fracture du substrat.

13. Procédé selon l'une des revendications 1 à 12, dans lequel on détermine, à
20 partir de l'intensité du son généré par la fracture d'un substrat, une énergie libérée lors de ladite fracture.

14. Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, dans lequel on détermine la
25 vitesse d'une onde de fracture se propageant dans un substrat à partir de la fréquence maximale correspondant au pic d'intensité sonore.

15. Procédé selon l'une des revendications 1 à 14, dans lequel chaque substrat comprend au moins un matériau semi-conducteur.

30 16. Dispositif pour le traitement thermique d'un lot de substrats comprenant chacun une zone de fragilisation formée par implantation d'espèces atomiques en vue de fracturer ledit substrat le long de ladite zone de fragilisation, comprenant un four de recuit (1) comprenant une chambre de chauffage (11) configurée pour recevoir simultanément l'ensemble dudit lot, au moins un microphone (3) configuré pour enregistrer les sons à
35 l'intérieur ou au voisinage de la chambre de chauffage, et un système de traitement (4) configuré pour détecter, à partir d'un enregistrement sonore produit par ledit microphone, un son émis par une fracture d'un substrat le long de la zone de fragilisation.

17. Dispositif selon la revendication 16, dans lequel le microphone (3) est agencé dans un tube (30) débouchant à l'intérieur de la chambre de chauffage (11).

5 18. Dispositif selon l'une des revendications 16 ou 17, comprenant au moins deux microphones (3) distants l'un de l'autre.

10 19. Dispositif selon la revendication 18, dans lequel le système de traitement (4) est configuré pour, à partir d'un décalage temporel entre les sons de la fracture d'un substrat détectés dans l'enregistrement de chacun desdits microphones, localiser au sein du lot le substrat pour lequel la fracture s'est produite.

20. Dispositif selon l'une des revendications 16 à 19, comprenant en outre un système de contrôle du four configuré pour stopper le traitement thermique dès que la fracture de l'ensemble des substrats du lot a été détectée.

15