

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
PARIS

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

2 964 193

②1 N° d'enregistrement national : **10 56719**

⑤1 Int Cl⁸ : **G 01 N 19/04 (2006.01)**

⑫

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 24.08.10.

③0 Priorité :

④3 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 02.03.12 Bulletin 12/09.

⑤6 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥0 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦1 Demandeur(s) : **S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR
TECHNOLOGIES** Société anonyme — FR.

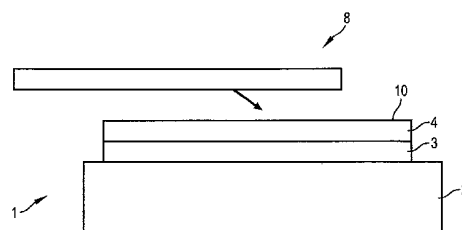
⑦2 Inventeur(s) : LANDRU DIDIER.

⑦3 Titulaire(s) : **S.O.I.TEC SILICON ON INSULATOR
TECHNOLOGIES** Société anonyme.

⑦4 Mandataire(s) : CABINET REGIMBEAU.

⑤4 **PROCEDE DE MESURE D'UNE ENERGIE D'ADHESION, ET SUBSTRATS ASSOCIES.**

⑤7 L'invention concerne un procédé de mesure d'une énergie d'adhésion entre deux substrats collés, selon une direction transversale, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à prévoir que l'un (1) au moins des deux substrats (1, 8) comprenne une pluralité de cellules (6) élémentaires de test, chacune étant apte à exercer localement, dans la direction transversale, une contrainte mécanique (σ) prédéterminée fonction de la température (T), sur une interface de collage (10) entre les substrats (1, 8), selon un sens tendant à les éloigner, soumettre (21) les substrats à une température de test, et identifier (22) des zones de l'interface de collage (10) présentant un décollement pour en déduire l'énergie locale d'adhésion à la température de test au niveau desdites zones, l'énergie locale d'adhésion au niveau d'une zone de l'interface (10) de collage étant déduite de la contrainte exercée par les cellules (6) de test ayant provoqué un décollement au niveau de ladite zone.



FR 2 964 193 - A1



DOMAINE TECHNIQUE GENERAL

L'invention concerne un procédé de mesure d'une énergie d'adhésion entre des substrats à coller. L'invention concerne également un substrat pour la mesure d'une telle énergie d'adhésion, et une structure
5 comprenant un tel substrat.

ETAT DE L'ART

Dans le domaine de l'électronique et de la microélectronique, il est courant de recourir à une étape de collage de deux substrats. Ce type de
10 collage est par exemple utilisé pour fabriquer des substrats de type SOI (Silicium sur Isolant) ou pour intégration 3D de substrats comportant des circuits électroniques à connecter.

Or, il est en général nécessaire d'évaluer la qualité du collage, qui se caractérise en particulier par l'énergie d'adhésion, également appelée
15 énergie de collage, entre les deux substrats.

Divers procédés de métrologie ont été proposés dans l'art antérieur pour caractériser cette énergie d'adhésion.

On connaît de l'art antérieur un procédé de test en traction, qui est un procédé de détermination directe et macroscopique de l'énergie
20 d'adhésion. Toutefois, ce procédé est très difficile à mettre en œuvre.

On connaît également un procédé de mesure de collage, proposé par Maszara dans le document intitulé « Bonding of silicon wafers for silicon-on-insulators », J. Appl. Phys. 1988, 64, 4943.

Dans ce procédé, une lame est insérée au niveau de l'interface de
25 collage entre les deux substrats. L'application d'une force mécanique par l'intermédiaire de la lame, dans une direction parallèle au plan de l'interface de collage, provoque localement le décollement des deux substrats et une propagation de la zone décollée sur une certaine distance. La longueur de propagation de la zone décollée donne une indication de l'énergie
30 d'adhésion qui existe entre les deux substrats.

Toutefois, ce procédé présente plusieurs inconvénients.

Ce procédé est une mesure indirecte de l'énergie d'adhésion, puisque celle-ci est extrapolée à partir de la propagation du décollement de

l'interface. La grandeur mesurée est donc la résistance au déchirement d'une interface et non pas l'énergie d'adhésion elle-même.

En outre, ce procédé est sensible aux conditions d'insertion de la lame et à l'opérateur, ce qui en fait un procédé peu précis.

- 5 De plus, ce procédé est macroscopique, c'est-à-dire qu'il ne permet de déterminer qu'une énergie d'adhésion moyenne sur une surface importante, et non pas une énergie d'adhésion locale.

Enfin, ce procédé est mis en œuvre à température ambiante, et caractérise donc l'énergie d'adhésion à température ambiante uniquement.

- 10 Il apparaît donc que les procédés de mesure d'une énergie d'adhésion de l'art antérieur présentent de nombreux inconvénients.

PRESENTATION DE L'INVENTION

L'invention propose de pallier les inconvénients précités.

- 15 A cet effet, l'invention propose un procédé de mesure d'une énergie d'adhésion entre deux substrats collés, selon une direction transversale, caractérisé en ce qu'il comprend les étapes consistant à :

- prévoir que l'un au moins des deux substrats comprenne une pluralité de cellules élémentaires de test, chacune étant apte à
- 20 exercer localement, dans la direction transversale, une contrainte mécanique prédéterminée fonction de la température, sur une interface de collage entre les substrats, selon un sens tendant à les éloigner,
- soumettre les substrats à une température de test, et
- 25 - identifier des zones de l'interface de collage présentant un décollement pour en déduire l'énergie locale d'adhésion à la température de test au niveau desdites zones, l'énergie locale d'adhésion au niveau d'une zone de l'interface de collage étant déduite de la contrainte exercée par les cellules de test ayant
- 30 provoqué un décollement au niveau de ladite zone.

L'invention est avantageusement complétée par les caractéristiques suivantes, prises seules ou en une quelconque de leur combinaison techniquement possible :

- la séquence comprenant les étapes consistant à soumettre les substrats à une température de test, et identifier les zones de l'interface de collage présentant un décollement, est répétée sur une
5 plage comprenant plusieurs températures de test, afin de déduire l'énergie locale d'adhésion pour ladite plage de températures de test ;
- chaque cellule élémentaire de test exerce une contrainte prédéterminée à une température prédéterminée lors de l'étape de
10 soumission à une température de test, l'ensemble consistant en ladite contrainte prédéterminée et en ladite température prédéterminée étant différent d'une cellule à l'autre ;
- le substrat comprend une pluralité de structures de test réparties de sorte à exercer des contraintes sur une pluralité de zones de
15 l'interface de collage, chaque structure de test comprenant une pluralité de cellules élémentaires de test différentes ;
- chaque cellule est repérée matériellement par un ensemble d'indications comprenant une contrainte prédéterminée exercée par
20 ladite cellule et une température prédéterminée à laquelle ladite contrainte est exercée, et/ou une énergie locale d'adhésion et une température à laquelle ladite énergie est atteinte, l'étape de déduction de l'énergie locale d'adhésion étant réalisée à partir de la lecture dudit ensemble d'indications ;
- l'identification des zones de l'interface de collage présentant un
25 décollement se fait par microscope acoustique.

L'invention propose également un substrat comprenant une pluralité de cellules élémentaires de test, chacune apte à exercer localement, dans une direction transversale, une contrainte mécanique prédéterminée fonction de la température sur une interface de collage située au niveau
30 d'une surface libre du substrat.

Le substrat peut comprendre en outre l'une au moins des caractéristiques suivantes :

- chaque cellule élémentaire de test est apte à exercer une contrainte prédéterminée à une température prédéterminée, l'ensemble consistant en ladite contrainte prédéterminée et en ladite température prédéterminée étant différent d'une cellule à l'autre ;
- 5 - les cellules élémentaires de test sont réparties dans une couche de test disposée sous une couche de collage dont une surface libre constitue l'interface de collage ;
- les cellules élémentaires de test sont disposées au niveau de la surface libre du substrat ;
- 10 - le substrat comprend une pluralité de structures de test étant apte à exercer des contraintes sur une pluralité de zones de l'interface de collage, chaque structure de test comprenant une pluralité de cellules élémentaires de test différentes ;
- chaque cellule est repérée matériellement par un ensemble
- 15 d'indications comprenant une contrainte prédéterminée exercée par ladite cellule et une température prédéterminée à laquelle ladite contrainte est exercée, et/ou une énergie locale d'adhésion et une température à laquelle ladite énergie est atteinte ;
- le substrat comprend une couche support transparente sous la
- 20 couche de test.

L'invention propose également une structure comprenant le substrat précédemment décrit et un deuxième substrat collé audit substrat au niveau de l'interface de collage. Dans un mode de réalisation, l'un au moins du substrat et du deuxième substrat comporte des circuits électroniques.

25 L'invention présente de nombreux avantages.

Un avantage de l'invention est d'offrir une mesure simple et directe de l'énergie d'adhésion au niveau d'une interface de collage.

Un autre avantage de l'invention est d'offrir une mesure précise de ladite énergie d'adhésion.

30 Un autre avantage encore de l'invention est d'offrir une mesure locale de ladite énergie d'adhésion.

Enfin, un autre avantage de l'invention est d'offrir une mesure de l'énergie d'adhésion à différentes températures.

PRESENTATION DES FIGURES

- D'autres caractéristiques, buts et avantages de l'invention ressortiront de la description qui suit, qui est purement illustrative et non
- 5 limitative, et qui doit être lue en regard des dessins annexés sur lesquels :
- la Figure 1 représente un mode de réalisation d'un substrat selon un premier aspect de l'invention ;
 - la Figure 2 représente un mode de réalisation d'une pluralité de cellules élémentaires de test utilisées dans le substrat de la Figure
 - 10 1 ;
 - la Figure 3 représente un mode de réalisation d'une cellule élémentaire de test;
 - la Figure 4 représente un mode de réalisation d'une juxtaposition de cellules élémentaires de test utilisable dans un substrat de la Figure
 - 15 1 ;
 - la Figure 5 représente un mode de réalisation d'une pluralité de cellules élémentaires de test repérées avec la contrainte et la température prédéterminées et associées à chacune desdites cellules ;
 - 20 - la Figure 6 représente un mode de réalisation de structures de test comprenant chacune une pluralité de cellules élémentaires de test ;
 - la Figure 7 représente un mode de réalisation d'un procédé de mesure de l'énergie d'adhésion selon un deuxième aspect de l'invention ;
 - 25 - la Figure 8 représente schématiquement un principe d'observation des cellules de test après une étape de traitement thermique.

DESCRIPTION DETAILLEE

On a représenté en Figure 1 un mode de réalisation d'un substrat 1

30 selon un premier aspect de l'invention. Le substrat 1 comprend une couche de collage 4, sur l'une de ses faces, destinée à être collée à un deuxième substrat 8. La couche de collage 4 est par exemple une couche d'oxyde. Le

collage est destiné à être réalisé selon une direction transversale colinéaire au vecteur normal au plan des substrats 1, 8 en situation de collage.

Les substrats à coller peuvent être de tout type, comme par exemple des substrats de type SOI (Silicium sur Isolant).

5 Le substrat 1 comprend en outre au moins une couche de test 3, disposée sous la couche de collage 4.

Le substrat 1 comprend en général un substrat support 2 disposé sous la couche de test 3. Le substrat support 2 est par exemple en silicium. Il est clair que le substrat 1 peut comprendre des couches ou éléments
10 supplémentaires selon les besoins et applications. En particulier le premier substrat 1 et/ou le deuxième substrat 8 peuvent comporter des circuits électriques dans le cadre classique de l'intégration 3D.

Comme représentés en Figure 2 et 3, la couche de test 3 est notamment caractérisée par le fait qu'elle comprend une pluralité de cellules
15 6 élémentaires de test, chaque cellule 6 étant apte à exercer localement, selon la direction transversale, une contrainte mécanique σ prédéterminée sur une interface de collage 10 située entre le substrat 1 et le substrat 8.

Cette contrainte est fonction de la température T à laquelle le substrat 1 est soumis et est orientée transversalement dans un sens
20 tendant à éloigner les substrats 1 et 8. Autrement dit, les cellules 6 sont dimensionnées pour exercer une contrainte de traction σ sur l'interface 10 de collage, comme cela est schématisé en Figure 3.

L'interface 10 de collage est l'interface au niveau de laquelle le collage entre le substrat 1 et le substrat 8 est réalisé. En particulier,
25 l'interface 10 de collage est située au niveau d'une surface libre de la couche de collage 4.

Les substrats 1 et 8 collés constituent une structure dans laquelle le deuxième substrat 8 est collé au premier substrat 1 au niveau de l'interface de collage 10. Cette structure constitue un troisième aspect de l'invention.

30 En général, chaque cellule 6 élémentaire de test est dimensionnée pour exercer une contrainte prédéterminée à une température prédéterminée sur l'interface 10 de collage. Une cellule élémentaire de test peut par exemple exercer une contrainte σ de 100MPa à 300°C.

Si la contrainte σ localement exercée par les cellules 6 est supérieure à l'énergie locale d'adhésion à une température T donnée, l'interface 10 de collage présentera un décollement au niveau de la zone de l'interface 10 de collage située au-dessus de la cellule 6 de test, ce qui
 5 permet de déterminer l'énergie locale d'adhésion à la température T . Il s'agit en général de la zone de l'interface 10 de collage située à l'aplomb de la cellule 6 de test dans la direction transversale.

Un avantage notable de l'invention est que les cellules 6 peuvent être enterrées, c'est-à-dire qu'elles ne sont pas présentes au niveau de
 10 l'interface de collage 10 ou dans la couche de collage 4, mais, par exemple, dans une couche de test située sous la couche de collage dont une surface libre consiste l'interface de collage. Ceci permet d'obtenir une couche de collage 4 homogène et évite de perturber les opérations de traitement de la couche de collage 4, en particulier de la surface libre de la couche de
 15 collage 4. On peut donc mesurer l'énergie locale d'adhésion sans perturber ni endommager l'interface de collage, et en particulier la surface libre de la couche de collage. On évite ainsi de nombreux inconvénients et limitations des procédés et dispositifs de l'art antérieur.

Par exemple, chaque cellule 6 comprend deux plots 13, 14 d'un
 20 matériau se dilatant thermiquement, comme du cuivre. On entend par plot une structure ayant une forme générale de cube ou parallélépipède. En général, le matériau de chaque cellule est choisi avec un coefficient de dilatation thermique différent du coefficient de dilatation thermique de la couche de test 3, qui est par exemple une couche d'oxyde. Toutefois le
 25 nombre de plots peut varier, et, plus généralement, la cellule peut avoir toute structure idoine permettant d'arriver au résultat recherché.

La contrainte σ exercée par chaque cellule dépend de la température et des dimensions de la cellule. Dans le cas des plots 13, 14 matérialisés en
 Figure 3, la contrainte exercée par la cellule 6 est fonction de l'espacement
 30 a entre les plots, de la largeur L des plots, de la hauteur transversale h des plots, et de la distance e par rapport à l'interface 10 de collage. Par exemple, les cellules sont de taille micrométrique.

De manière avantageuse, la couche de test 3 comprend une pluralité de cellules 6 de test, dimensionnées pour exercer chacune une contrainte différente, comme représenté en Figure 4.

Avantageusement, chaque cellule 6 élémentaire de test est apte à
 5 exercer une contrainte prédéterminée à une température prédéterminée, et l'ensemble constitué de la contrainte prédéterminé et de la température prédéterminé est différent d'une cellule à l'autre, comme schématisé en Figure 5. Comme explicité par la suite, l'augmentation du nombre de cellules 6 de test permet d'augmenter la résolution en énergie d'adhésion
 10 pour chaque température de test à laquelle la structure comprenant le premier 1 et le deuxième 8 substrats est soumise.

Par exemple, une cellule peut être caractérisée par le fait qu'elle exerce une contrainte de 100MPa à une température de 200 °C. Ces valeurs sont prédéterminées et connues de l'opérateur, par le choix et le
 15 dimensionnement des cellules de test.

Avantageusement, la couche 3 de test comprend une pluralité de structures de test 15 étant apte à exercer des contraintes sur une pluralité de zones différentes de l'interface 10 de collage, chaque structure de test 15 comprenant une pluralité de cellules 6 élémentaires de test différentes.

20 Avantageusement, chaque cellule élémentaire de test d'une structure de test est apte à exercer une contrainte prédéterminée à une température prédéterminée, l'ensemble comprenant la contrainte et la température étant différent d'une cellule à l'autre dans une structure de test donnée.

Ceci revient à dupliquer la pluralité de cellules 6 de test, comme par
 25 exemple les cellules 6 de test représentées en Figure 5, sur plusieurs zones de la couche de test 3. Grâce à cette configuration, il est possible de mesurer l'énergie locale d'adhésion en plusieurs zones de l'interface 10 de collage. En général, une structure de test a une superficie de l'ordre de 0.5 cm². On obtient donc pour chaque zone couverte par une structure 15 de
 30 test une valeur d'énergie locale d'adhésion à différentes températures. Il est clair que plus le nombre de structures 15 de test est élevé, plus l'on dispose de zones de l'interface 10 de collage dont on connaît l'énergie d'adhésion.

Il est à présent décrit un mode de réalisation d'un procédé de mesure d'une énergie d'adhésion selon un deuxième aspect de l'invention, mettant en œuvre le substrat 1 précédemment décrit.

Dans une première étape 20, la couche de collage 4 dudit substrat 1 est collée dans une direction transversale avec un deuxième substrat 8. Ce type de collage est largement connu de l'homme du métier et n'est pas détaillée.

La structure comprenant le substrat 1 et le substrat 8 collés est alors soumise (étape 21) à un traitement thermique.

10 Il s'agit d'un traitement dans lequel ladite structure est soumise à une montée en température, jusqu'à une température de test. Cette montée en température est réalisée de manière connue dans un four.

Lors de la montée en température, et comme décrit précédemment, les cellules de test 6 de la couche 3 de test exercent alors une contrainte transversale de traction sur l'interface 10 de collage située entre le substrat 1 et le substrat 8. En fonction de la température de test appliquée à la structure comprenant le substrat 1 et le substrat 8, seules certaines cellules de test vont exercer une contrainte, ladite contrainte étant prédéterminée et propre à chaque cellule, comme illustré en Figure 5.

20 En effet, les structures 15 de test de la couche de test sont dimensionnées pour que chaque cellule 6 élémentaire de test de la structure de test exerce une contrainte prédéterminée à une température prédéterminée lors de l'étape de soumission 22 à une température de test, l'ensemble consistant en ladite contrainte prédéterminée et en ladite température prédéterminée étant différent d'une cellule 6 à l'autre.

On notera que le traitement thermique précédemment décrit est couramment utilisé pour consolider le collage entre deux substrats. En effet, le collage à température ambiante de deux substrats ne fournit généralement pas une tenue mécanique suffisante pour les besoins de l'industrie électronique ou micro-électronique. L'invention exploite donc cette étape de renforcement du collage en tant qu'étape de test, ce qui permet d'éviter l'ajout de nouvelles étapes coûteuses et néfastes à la structure sous test, comme dans les procédés de l'art antérieur.

Dans certains cas, au moins l'un des substrats 1 et/ou 8 est muni de circuits électroniques. On connaît par exemple le procédé de fabrication dit d'intégration 3D, consistant à coller des couches de substrat comprenant des circuits électroniques, et à connecter lesdits circuits pour former un
 5 composant électronique. Le collage comprend le plus souvent une étape de traitement thermique.

Avantageusement, les zones de l'interface 10 équipées de cellules de test peuvent être aménagées au niveau de lignes de découpe des substrats post-collage.

10 Les structures de test sont alors intégrées dans les circuits électroniques qui contiennent classiquement sur leur périphérie, en général dans les lignes de découpe, un certain nombre de structures de test et de mesures pour le procédé de surveillance (« monitoring process »).

Les structures de test de l'énergie d'adhésion conformes à l'invention
 15 sont très facilement intégrables, notamment par une modification d'un jeu de masques.

Un avantage de cette solution est qu'elle constitue un moyen pour contrôler directement lors du procédé de fabrication dit d'intégration 3D l'énergie d'adhésion et permet donc détecter d'éventuels défauts ou
 20 problèmes de fabrication. En particulier, cette solution exploite l'étape de traitement thermique nécessaire au collage des couches comprenant des circuits électroniques, pour caractériser l'énergie d'adhésion.

Dans une étape 22 ultérieure, l'interface 10 de collage est observée. Les zones de l'interface 10 de collage présentant un décollement et/ou des
 25 défauts sont identifiées et indiquent que l'énergie locale d'adhésion a été atteinte voire dépassée.

L'énergie locale d'adhésion au niveau de chaque zone de l'interface 10 de collage est déduite de la contrainte exercée par la cellule 6 de test ou les cellules 6 de test ayant provoqué un décollement de ladite zone, comme
 30 illustré en Figure 8. Les cellules 6 de test de la Figure 8 réalisent une structure 15 de test.

Les zones de l'interface 10 de collage présentant un défaut et/ou un décollement sont identifiées, ce qui permet d'identifier les cellules de test 6

ayant provoqué un décollement (schématisé par un rectangle noir en Figure 8). Dans le cas de plots, le décollement s'opère dans la zone de l'interface de collage située entre les plots.

Par exemple, en Figure 8, on a soumis la structure comprenant le premier substrat 1 et le deuxième substrat 2 à une température de test de 300°C. On constate alors que l'interface 10 de collage s'est décollée uniquement au niveau des cellules de la structure 15 dimensionnées pour exercer des contraintes à 300°C qui sont supérieures à l'énergie locale de collage.

On en déduit donc que la contrainte ayant provoquée un décollement de la zone correspondante de l'interface 10 de collage est comprise entre 29MPa et 30MPa à 300°C.

Ceci permet de déduire, notamment à partir d'abaques donnant la correspondance entre contrainte, température et énergie, l'énergie locale d'adhésion à température donnée au niveau de la zone de l'interface de collage située à l'aplomb de la structure 15 de test selon la direction transversale. Ces abaques sont établis à partir de modèles prenant en compte les différents paramètres de mise en œuvre du procédé : contrainte, température, type de matériau...

Dans le cas précédemment décrit de la Figure 8, et à partir de la contrainte déterminée comme explicité précédemment, on peut en déduire l'énergie locale d'adhésion à 300°C de la zone décollée.

L'énergie locale d'adhésion au niveau d'une zone de l'interface 10 de collage est donc avantageusement déduite de la contrainte exercée par les cellules 6 de test ayant provoqué un décollement au niveau de ladite zone.

On comprend que plus l'on dispose de cellules de test pour une structure de test donnée, plus l'on dispose de points de mesure. En particulier, le fait de disposer d'un nombre élevé de couples différents contrainte prédéterminée/température prédéterminée augmente la résolution de mesure. On augmente alors la résolution en énergie locale d'adhésion pour chaque température.

De même, le fait de disposer d'une pluralité de structures de test comprenant elles-mêmes une pluralité de cellules 6 élémentaires de test

permet de déterminer l'énergie locale d'adhésion en un nombre élevé de zones de l'interface 10 de collage.

De manière avantageuse, les étapes 21 et 22 peuvent être répétées de manière itérative, dans le cas d'une température croissante.

5 En particulier, la séquence comprenant les étapes consistant à soumettre le premier et le deuxième substrats à une température de test, et à identifier les zones de l'interface de collage présentant un décollement, est répétée sur une plage comprenant plusieurs températures de test, afin de déduire l'énergie locale d'adhésion pour ladite plage de températures de
10 test. On obtient alors une série de mesures discrètes, qui permet de tracer une courbe de variation de l'énergie d'adhésion en fonction de la température pour chaque zone étudiée de l'interface 10 de collage. Toutefois, ce principe ne fonctionne que dans le cas où l'on applique une montée progressive en température au cours des tests successifs.

15 En pratique, le premier 1 et le deuxième 8 substrats collés l'un avec l'autre sont soumis à une nouvelle température de test, puis l'interface 10 de collage est observée. Cette séquence est répétée autant que nécessaire.

20 L'invention offre une mesure de l'énergie locale en différentes zones de l'interface 10 de collage.

L'observation des défauts de l'interface 10 de collage peut se faire selon toute technique connue de l'homme du métier.

Avantageusement, l'observation des zones de l'interface 10 de collage peut se faire après recuit, par microscope acoustique de type SAM
25 (« Scanning Acoustic Microscope »). Il reste toutefois envisageable d'observer les défauts de l'interface en temps réel, c'est-à-dire en même temps que la soumission des substrats collés à la température de test.

Dans un mode de réalisation avantageux, chaque cellule est repérée matériellement par un ensemble d'indications comprenant la contrainte
30 prédéterminée exercée par la cellule et la température prédéterminée à laquelle ladite contrainte est exercée, comme illustré en Figure 8, et/ou un ensemble d'indications comprenant l'énergie locale d'adhésion et la

température à laquelle ladite énergie est atteinte. Ces données sont gravées ou inscrites à proximité de chaque cellule.

Ainsi, la déduction de l'énergie locale d'adhésion est opérée à partir de la lecture directe dudit ensemble.

5 Avantageusement, la couche 2 de support est transparente ce qui permet de lire directement la contrainte ou l'énergie d'adhésion en utilisant un microscope. Il peut par exemple s'agir d'une couche de verre ou de quartz.

10 L'invention peut avantageusement être appliquée au cas de test ou au cas de la surveillance du collage dans le cadre d'une intégration 3D de substrats.

15 Les cellules de test peuvent, dans les deux cas, être directement disposées au niveau de la surface libre de l'un ou l'autre des substrats, c'est à dire au niveau de l'interface 10 de collage. En particulier, les cellules de test peuvent affleurer la surface libre de l'un ou l'autre des substrats (c'est à dire avec la distance e nulle ou quasi nulle), ou même comprendre une portion émergeant de la surface libre. Il est alors possible de supprimer la couche de collage, c'est-à-dire que les cellules de test ne sont plus enterrées.

20 Les cellules de test sont identiques à celles décrites dans les modes de réalisations précédents, et peuvent être disposées sous la forme de structures de test réparties au niveau de la surface libre du substrat.

25 Dans le cas de l'intégration 3D, il est en outre possible de prévoir que le substrat comprenant les cellules de test comprenne en outre des circuits électroniques. Ceci est applicable aussi bien dans le cas où les substrats sont collés par l'intermédiaire d'une couche de collage (également connue de l'homme du métier sous l'expression anglo-saxonne « blanket ») ou non, c'est-à-dire que les substrats sont directement assemblés au niveau de leur couche supérieure comprenant des circuits électroniques.

30 D'une manière générale, les mesures obtenues par le procédé selon l'invention sont précises et améliorent les résultats de l'art antérieur, comme par exemple les résultats obtenus avec le procédé proposé par Maszara.

De plus, l'invention offre une mesure simple et directe de l'énergie d'adhésion de l'interface de collage.

En outre, l'invention offre une mesure de l'énergie d'adhésion à différentes températures.

5 Enfin, le procédé selon l'invention est avantageux car peu invasif. Un opérateur souhaitant mesurer l'énergie d'adhésion entre deux substrats à coller pourra facilement utiliser le substrat selon l'invention, qui comprend toutes les couches utiles nécessaires à une application donnée (couche de collage et substrat support) et diffère uniquement de par la présence de
10 cellules de test, enterrées ou non. De plus, le procédé ne nécessite que peu d'étapes supplémentaires en plus des étapes classiques de collage et de consolidation par chauffage des substrats collés.

L'invention est donc très avantageuse aussi bien en terme de flexibilité que de coût. L'invention trouve de nombreuses applications, et notamment
15 dans les domaines de l'électronique, de la micro-électronique ou de l'optique.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de mesure d'une énergie d'adhésion entre deux substrats collés, selon une direction transversale, caractérisé en ce qu'il comprend les
 - 5 étapes consistant à :
 - prévoir que l'un (1) au moins des deux substrats (1, 8) comprenne une pluralité de cellules (6) élémentaires de test, chacune étant apte à exercer localement, dans la direction transversale, une contrainte mécanique (σ) prédéterminée fonction de la température (T), sur une
 - 10 interface de collage (10) entre les substrats (1, 8), selon un sens tendant à les éloigner,
 - soumettre (21) les substrats à une température de test, et
 - identifier (22) des zones de l'interface de collage (10) présentant un décollement pour en déduire l'énergie locale d'adhésion à la température de
 - 15 test au niveau desdites zones,
 - l'énergie locale d'adhésion au niveau d'une zone de l'interface (10) de collage étant déduite de la contrainte exercée par les cellules (6) de test ayant provoqué un décollement au niveau de ladite zone.
- 20 2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel la séquence comprenant les étapes consistant à :
 - soumettre (21) les substrats (1, 8) à une température de test, et
 - identifier (22) les zones de l'interface de collage (10) présentant un décollement,
 - 25 est répétée sur une plage comprenant plusieurs températures de test, afin de déduire l'énergie locale d'adhésion pour ladite plage de températures de test.
3. Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, dans lequel chaque
 - 30 cellule (6) élémentaire de test exerce une contrainte prédéterminée à une température prédéterminée lors de l'étape de soumission (21) à une température de test, l'ensemble consistant en ladite contrainte

prédéterminée et en ladite température prédéterminée étant différent d'une cellule (6) à l'autre.

4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel le substrat
5 comprend une pluralité de structures (15) de test réparties de sorte à exercer des contraintes sur une pluralité de zones de l'interface (10) de collage, chaque structure (15) de test comprenant une pluralité (6) de cellules élémentaires de test différentes.
- 10 5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel chaque cellule (6) est repérée matériellement par un ensemble d'indications comprenant
une contrainte prédéterminée exercée par ladite cellule et une température prédéterminée à laquelle ladite contrainte est exercée, et/ou
une énergie locale d'adhésion et une température à laquelle ladite
15 énergie est atteinte,
l'étape de déduction de l'énergie locale d'adhésion étant réalisée à partir de la lecture dudit ensemble d'indications.
6. Procédé selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel l'identification
20 des zones de l'interface (10) de collage présentant un décollement se fait par microscope acoustique.
7. Substrat (1) comprenant une pluralité de cellules (6) élémentaires de test, chacune apte à exercer localement, dans une direction transversale, une
25 contrainte mécanique (σ) prédéterminée fonction de la température (T) sur une interface (10) de collage située au niveau d'une surface libre du substrat (1).
8. Substrat selon la revendication 7, dans lequel chaque cellule élémentaire
30 (6) de test est apte à exercer une contrainte prédéterminée à une température prédéterminée, l'ensemble consistant en ladite contrainte prédéterminée et en ladite température prédéterminée étant différent d'une cellule (6) à l'autre.

9. Substrat selon l'une des revendications 7 ou 8, dans lequel les cellules élémentaires (6) de test sont réparties dans une couche (3) de test disposée sous une couche de collage (4) dont une surface libre constitue l'interface (10) de collage.

5

10. Substrat selon l'une des revendications 7 ou 8, dans lequel les cellules élémentaires (6) de test sont disposées au niveau de la surface libre du substrat (1).

10 11. Substrat selon l'une des revendications 7 à 10, comprenant une pluralité de structures (15) de test étant apte à exercer des contraintes sur une pluralité de zones de l'interface (10) de collage, chaque structure (15) de test comprenant une pluralité de cellules (6) élémentaires de test différentes.

15

12. Substrat selon l'une des revendications 7 à 11, dans lequel chaque cellule (6) est repérée matériellement par un ensemble d'indications comprenant

20 une contrainte prédéterminée exercée par ladite cellule et une température prédéterminée à laquelle ladite contrainte est exercée, et/ou une énergie locale d'adhésion et une température à laquelle ladite énergie est atteinte.

25 13. Substrat selon l'une des revendications 9, 11 ou 12, comprenant en outre une couche (2) support transparente sous la couche (3) de test.

14. Structure comprenant le substrat (1) selon l'une des revendications 7 à 13 et un deuxième substrat collé audit substrat (1) au niveau de l'interface (10) de collage.

30

15. Structure selon la revendication 14, caractérisée en ce que l'un au moins du substrat et du deuxième substrat (1, 8) comporte des circuits électroniques.

1/4

FIG. 1

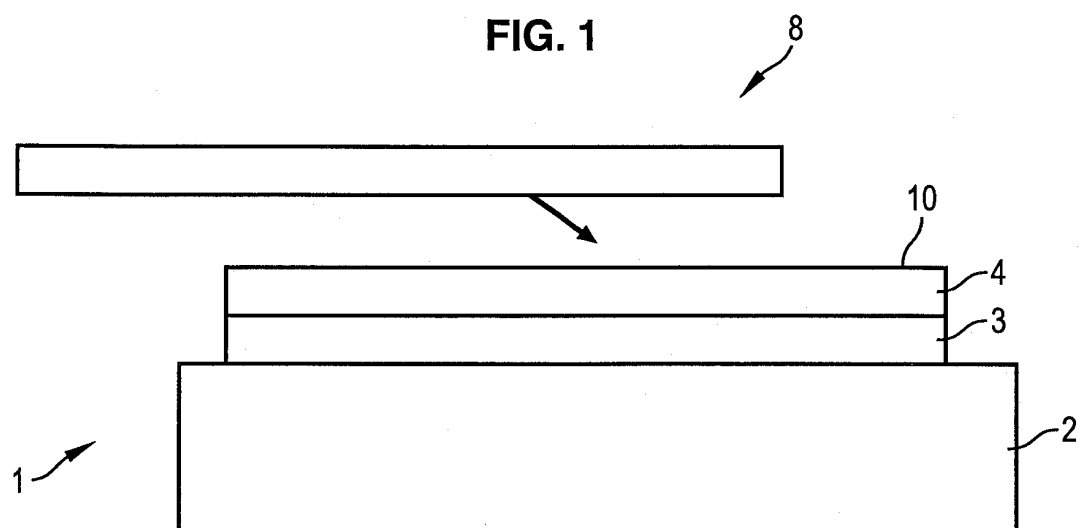
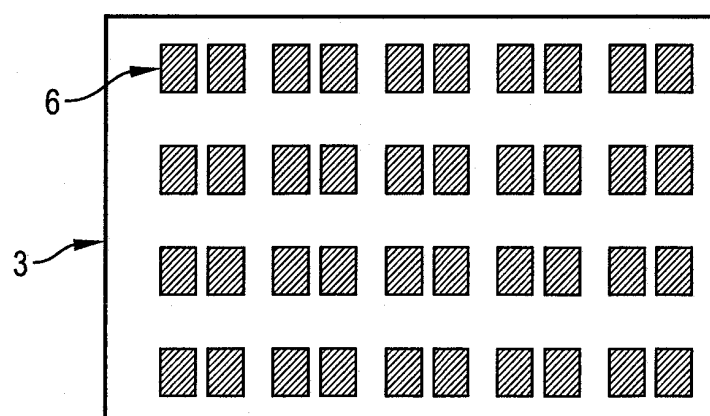


FIG. 2



2/4

FIG. 3

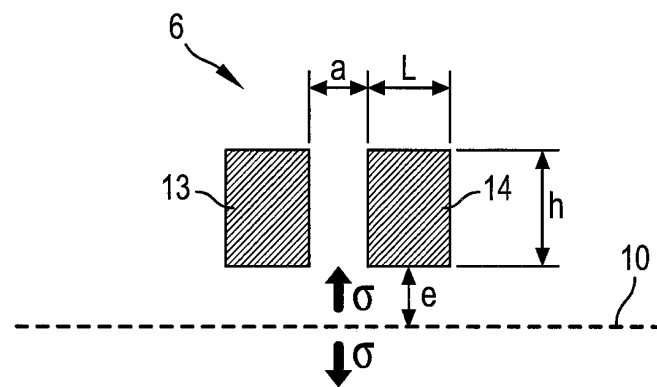
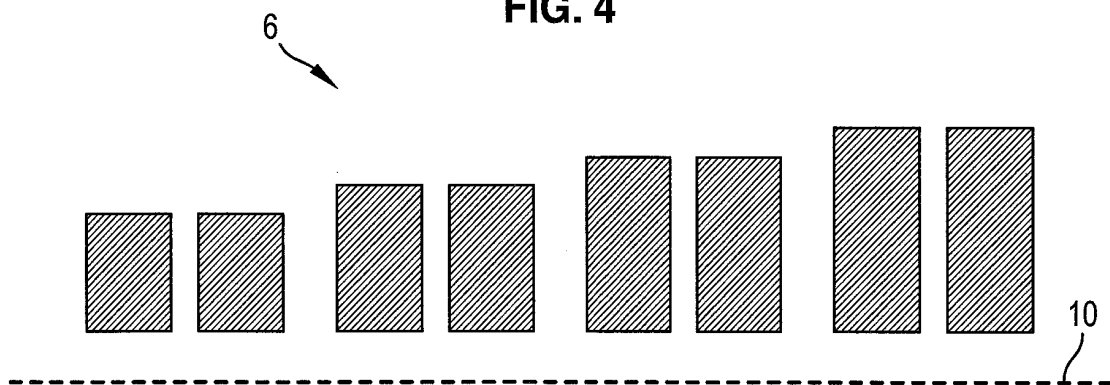
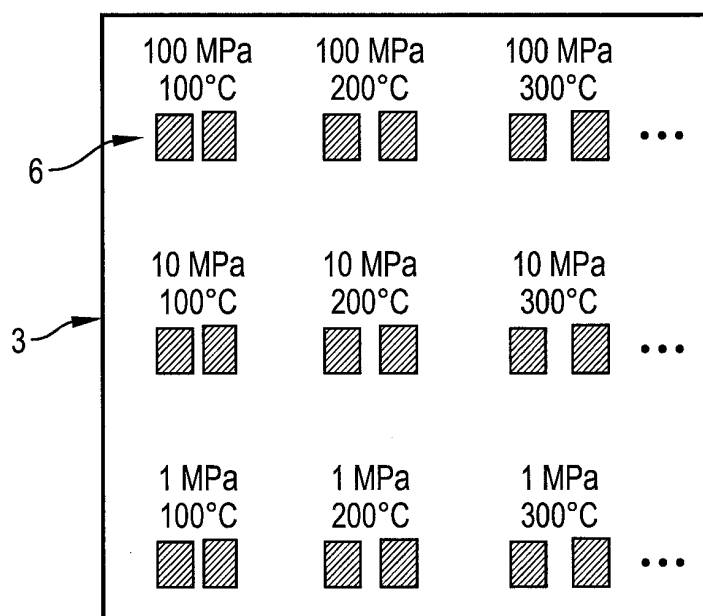
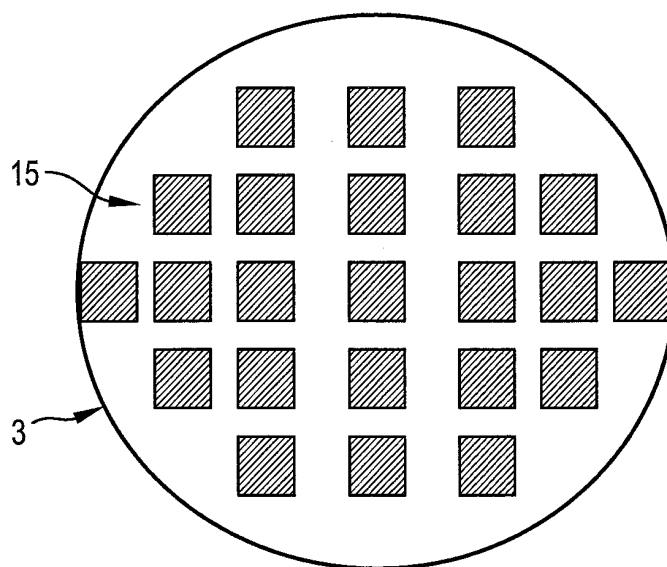


FIG. 4



3/4**FIG. 5****FIG. 6**

4/4

FIG. 7

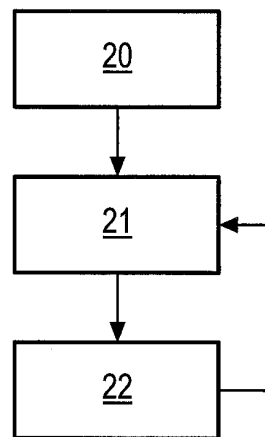
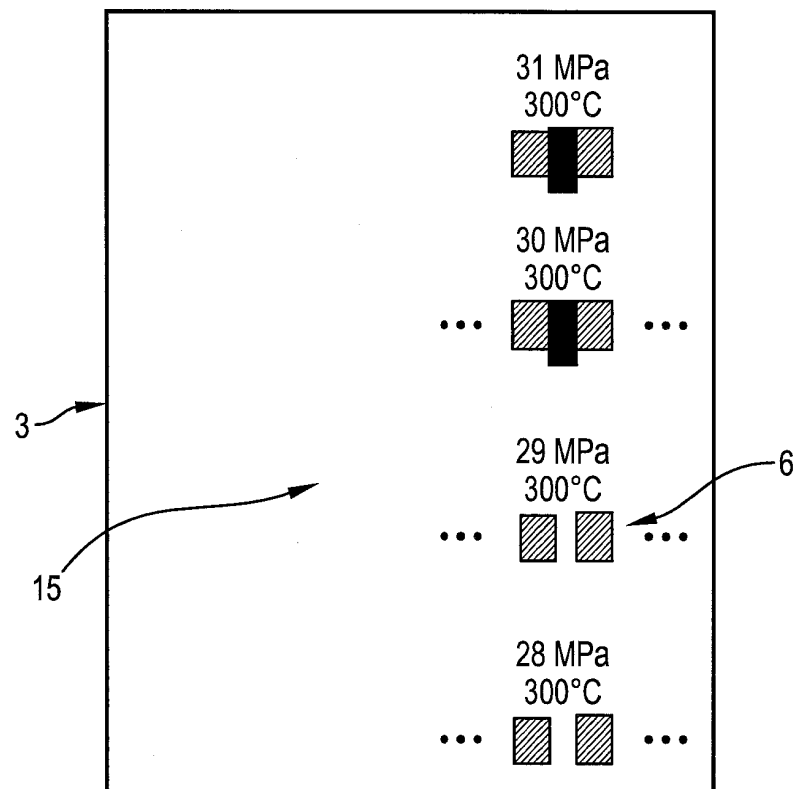


FIG. 8





RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

N° d'enregistrement
national

FA 740523
FR 1056719

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI	
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes			
X	WO 03/008938 A2 (SIEMENS AG [DE]; LAMPENSCHERF STEFAN [DE]) 30 janvier 2003 (2003-01-30) * le document en entier *	1-15	G01N19/04	
X	US 2007/039395 A1 (GUPTA VIJAY [US] ET AL) 22 février 2007 (2007-02-22) * alinéa [0088]; figure 13 *	7-15		
X	WO 03/019157 A1 (SYMYX TECHNOLOGIES INC [US]) 6 mars 2003 (2003-03-06) * figures 4-16 *	1,7		
X	US 6 523 419 B1 (NONAKA NOBUYOSHI [JP] ET AL) 25 février 2003 (2003-02-25) * figure 3 *	7-15		
A	US 2007/237448 A1 (SATO KEIICHI [JP] ET AL) 11 octobre 2007 (2007-10-11) * alinéas [0051] - [0067]; figures 3-8 *	1-15		
A	US 6 117 695 A (MURPHY ADRIAN S [US] ET AL) 12 septembre 2000 (2000-09-12) * figures 3-7 *	1-15		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC)
A	US 6 616 332 B1 (RENKEN WAYNE [US] ET AL) 9 septembre 2003 (2003-09-09) * figures 6-8 *	1-15		G01N
A	US 5 696 327 A (HUANG HE [US] ET AL) 9 décembre 1997 (1997-12-09) * revendication 1 *	1		
A	US 5 537 884 A (NISHIMURA ASAO [JP] ET AL) 23 juillet 1996 (1996-07-23) * le document en entier *	1,15		
Date d'achèvement de la recherche		Examineur		
12 avril 2011		Cantalapiedra, Igor		
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant				

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 1056719 FA 740523**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.

Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du **12-04-2011**

Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 03008938	A2	30-01-2003	AUCUN	
US 2007039395	A1	22-02-2007	AUCUN	
WO 03019157	A1	06-03-2003	AU 2002331701 A1	10-03-2003
US 6523419	B1	25-02-2003	JP 3321455 B2	03-09-2002
			JP 2000349118 A	15-12-2000
US 2007237448	A1	11-10-2007	JP 2007278848 A	25-10-2007
US 6117695	A	12-09-2000	AUCUN	
US 6616332	B1	09-09-2003	JP 2003515118 T	22-04-2003
			TW 455677 B	21-09-2001
			WO 0136916 A2	25-05-2001
US 5696327	A	09-12-1997	AUCUN	
US 5537884	A	23-07-1996	AUCUN	