

12)

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22) Date de dépôt : 22.02.07.

30) Priorité :

43) Date de mise à la disposition du public de la demande : 29.08.08 Bulletin 08/35.

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) : STMICROELECTRONICS (CROLLES) SAS Société par actions simplifiée — FR.

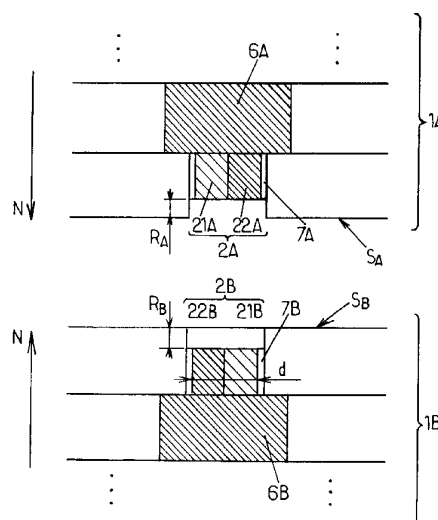
72) Inventeur(s) : CORONEL PHILIPPE, COUDRAIN PERCEVAL et MAZOYER PASCALE.

73) Titulaire(s) :

74) Mandataire(s) : CABINET PLASSERAUD.

54) ASSEMBLAGE DE DEUX PARTIES DE CIRCUIT ELECTRONIQUE INTEGRE.

57) Un procédé d'assemblage de deux parties d'un circuit électronique intégré (1A, 1B) procède en deux étapes successives. Lors d'une première étape, les deux parties de circuit sont rendues solidaires par un collage moléculaire, réalisé sur des faces d'application respectives (SA, SB) des deux parties. Lors d'une seconde étape, des connexions électriques sont formées à partir de portions de connexions (2A, 2B) prévues initialement dans les faces d'application des deux parties de circuit. Les connexions formées traversent l'interface de collage, et sont compatibles avec une solidité et un niveau d'intégration du circuit qui sont élevés.



FR 2 913 145 - A1



ASSEMBLAGE DE DEUX PARTIES DE CIRCUIT ELECTRONIQUE
INTEGRE

La présente invention concerne un procédé d'assemblage de deux parties d'un circuit électronique intégré. Plus particulièrement, elle concerne un tel procédé lors duquel une connexion électrique est réalisée entre les deux parties du circuit, sensiblement à l'échelle du niveau d'intégration du circuit.

5 Elle concerne aussi un circuit du type obtenu par un tel procédé, ainsi qu'une partie de circuit adaptée pour être assemblée selon ce procédé.

Pour répondre au besoin de circuits électroniques intégrés de plus en plus complexes, des circuits de type SiP pour «System in Package» en anglais, sont réalisés. De tels circuits combinent plusieurs parties de circuit qui sont

10 réalisées sur des substrats respectifs, et qui sont assemblées dans un même boîtier. Chaque partie de circuit peut avoir une fonction différente au sein du circuit complet, telle qu'une fonction de connexion extérieure, une fonction de mémoire à accès aléatoire, une fonction de communication multimédia, une fonction de bande de base («baseband») analogique ou numérique, une

15 fonction radio, une fonction d'alimentation, une fonction d'interface d'utilisateur, etc.

A l'intérieur du boîtier, les différentes parties de circuit sont couramment connectées entre elles soit par des fils de micro-câblage («wire bonding»), soit par des billes de soudure («bumps») qui relient des plots de

20 connexion disposés en vis-à-vis sur chaque partie de circuit. Le micro-câblage est long et délicat à réaliser. En outre, il ne permet de réaliser des connexions électriques qu'à la périphérie des parties de circuit. Le nombre de connexions par micro-câblage qui sont ainsi possibles entre deux parties de circuits est alors restreint. Dans le cas d'une connexion par billes de soudure, des billes de

25 soudure peuvent être prévues sur toute la surface d'une partie de circuit électronique intégré. Mais, la quantité de connexions électriques réalisables de cette façon est limitée par la taille des billes, qui est de l'ordre de quelques micromètres à quelques dizaines de micromètres, par rapport à la taille du substrat de chaque partie de circuit.

Diverses méthodes ont alors été proposées, pour réaliser des connexions plus petites entre deux parties d'un circuit électronique intégré qui sont élaborées chacune à partir d'un substrat séparé. Chaque partie de circuit comporte donc son propre substrat, sur lequel sont disposés des transistors et des niveaux de connexion superposés au dessus du niveau des transistors.

Selon une première de ces méthodes, les deux substrats sont d'abord assemblés parallèlement l'un sur l'autre, par collage moléculaire ("molecular bonding") ou via une couche intermédiaire de polymère, puis des cheminées sont gravées à partir d'une même face externe de l'assemblage. Une connexion électrique entre les deux parties de circuit est alors réalisée en formant un pont conducteur sur cette face, qui relie deux cheminées remplies de matériau conducteur et s'étendant chacune jusqu'à une connexion électrique interne de l'une des deux parties de circuit. Pour cela, l'une des deux cheminées doit être particulièrement profonde, pour traverser l'un des substrats et l'interface de collage entre les deux parties de circuit. Afin de pouvoir la remplir de matériau conducteur sur toute sa profondeur, cette cheminée doit avoir une section suffisamment grande, de sorte que de telles connexions ne peuvent pas être réalisées avec une densité importante dans le circuit assemblé. En outre, un procédé de fabrication d'un tel circuit à deux parties est long et complexe, à cause des nombreuses étapes spécifiques supplémentaires qui sont nécessaires pour former les connexions à travers l'interface de collage. Enfin, la présence d'une couche de collage en polymère est incompatible avec certains traitements ultérieurs du circuit à haute température.

Selon une deuxième de ces méthodes, des plots métalliques proéminents sont formés à la surface des deux parties de circuit, qui sont connectés respectivement à des composants électroniques de chacune d'elles, selon la conception du circuit. Ces plots sont disposés pour venir en contact par paires lorsque les deux parties de circuits sont amenées l'une en face de l'autre. L'assemblage est alors réalisé par collage métallique des plots en vis-à-vis, en comprimant les deux portions de circuit l'une contre l'autre et en chauffant simultanément entre 300°C et 400°C. Mais la force de compression qui est nécessaire est incompatible avec l'utilisation de portions à faible

- 3 -

permittivité diélectrique au sein de chaque partie de circuit, à cause de la fragilité de telles portions diélectriques.

Enfin, selon une troisième de ces méthodes, des vias de cuivre débouchent en vis-à-vis à la surface des deux parties de circuit, avec des débordements. Des portions d'étain sont rapportées sur les vias de l'une des
5 deux parties de circuit, puis celles-ci sont amenées au contact des vias de l'autre partie de circuit en chauffant. Ces portions d'étain réalisent alors des soudures qui relient électriquement les deux parties de circuit. Mais l'assemblage de circuit qui est ainsi obtenu est fragile.

10 Un but de la présente invention consiste à proposer un assemblage de circuit électronique intégré, à partir de deux parties de circuit initialement séparées, qui ne présente pas les inconvénients cités ci-dessus.

A cette fin, la présente invention propose un procédé d'assemblage de deux parties d'un circuit électronique intégré, suivant lequel chaque partie de
15 circuit comprend initialement :

- une face d'application qui est constituée, dans au moins une zone de cette face, d'un matériau adapté pour produire un collage moléculaire et,
- au moins une portion de connexion électrique qui débouche sur la face
20 d'application de cette partie de circuit et qui est disposée pour être en vis-à-vis avec une portion de connexion de l'autre partie de circuit lorsque les deux faces d'application sont mises en contact en étant alignées l'une par rapport à l'autre.

Selon l'invention, ce procédé comprend les étapes successives
25 suivantes :

- /1/ assembler les deux parties de circuit l'une avec l'autre, par collage moléculaire des faces d'application, de sorte que les portions de connexion respectives des deux parties de circuit soient en vis-à-vis ;
et
- 30 /2/ chauffer l'assemblage de circuit de façon à provoquer une formation d'un alliage conducteur électriquement à partir de matériaux initiaux

des deux portions de connexion pour réaliser une connexion qui relie électriquement les deux parties de circuit assemblées.

Ainsi, le procédé proposé procède en deux étapes distinctes, qui sont exécutées l'une après l'autre.

5 La première étape consiste à assembler les deux parties de circuit par collage moléculaire, puis la seconde consiste à relier électriquement les deux parties de circuit entre elles. Grâce à une telle dissociation du procédé, la première étape de collage peut être réalisée d'une façon usuelle, qui est bien maîtrisée à l'heure actuelle. Elle aboutit ainsi à un circuit complet qui présente
10 une bonne cohésion mécanique. En effet, pendant cette première étape, aucune connexion électrique n'intervient, qui pourrait gêner ou perturber le collage moléculaire.

 Puis la seconde étape consiste à provoquer une réaction chimique par chauffage, sans apport de matériau à partir d'une source externe. Tous les
15 matériaux qui sont nécessaires à la formation de la connexion sont présents dans les deux parties de circuit avant la première étape, de sorte que la seconde étape est particulièrement simple à mettre en œuvre. En outre, les deux portions de connexion sont formées initialement au sein de chaque partie du circuit électronique intégré, selon les techniques usuelles d'apport de
20 matériau sur une puce en cours de fabrication, qui sont peu onéreuses.

 Le circuit assemblé qui est obtenu par un procédé selon l'invention est du type "System in Package" (SiP). Il présente donc un encombrement total qui est réduit et ne nécessite qu'un unique boîtier de conditionnement.

 Un premier avantage de l'invention réside donc dans la simplicité et la
25 rapidité du procédé proposé.

 Un deuxième avantage de l'invention réside dans la possibilité de former des connexions qui relient les deux parties du circuit avec un niveau d'intégration qui est sensiblement équivalent à celui des connexions internes à chaque partie de circuit. Un grand nombre de connexions peuvent ainsi être
30 réalisées à travers l'interface de collage, qui permettent de réaliser un circuit complet complexe. En outre, toutes les connexions entre les deux parties du circuit, à travers l'interface de collage, peuvent être réalisées simultanément en

une unique exécution du procédé d'assemblage de l'invention.

Un troisième avantage résulte du fait que le procédé peut être mis en œuvre circuit par circuit, c'est-à-dire après que chaque partie de circuit a été découpée individuellement dans une tranche de silicium correspondant à une série de circuits fabriqués simultanément. Alternativement, le procédé peut être mis en œuvre pour deux tranches de silicium qui portent respectivement des séries de chaque partie de circuit avant que celles-ci soient découpées, lorsque ces parties de circuit apparaissent à des positions correspondantes dans chaque tranche de silicium. Les étapes /1/ et /2/ peuvent alors être exécutées simultanément pour toutes les parties de circuit portées par les deux tranches.

Un quatrième avantage provient du fait que le procédé d'assemblage est compatible avec l'utilisation de portions à faible permittivité diélectrique au sein de chaque partie de circuit. En effet, chaque partie de circuit n'est soumise à aucune contrainte mécanique élevée pendant le procédé.

Un cinquième avantage résulte de la compatibilité du circuit complet qui est obtenu avec un traitement thermique ultérieur à température plus élevée. En effet, aucun matériau polymère n'est utilisé pour coller les deux parties du circuit.

Enfin, une connexion électrique qui relie les deux parties du circuit et qui est réalisée selon l'invention peut être relativement courte, puisque l'interface de collage moléculaire n'utilise qu'une très faible épaisseur de chaque partie de circuit. Une telle connexion ne crée alors que peu de retard lors d'une transmission par celle-ci de signaux électriques depuis une partie du circuit jusqu'à l'autre. Le procédé de l'invention est donc compatible avec les objectifs à long terme qui sont fixés pour l'amélioration des circuits électroniques intégrés. Une telle connexion qui est courte peut être obtenue, notamment, lorsque chaque partie du circuit comprend un substrat sur lequel sont disposés des transistors et des niveaux de connexions superposés, et lorsque la face d'application de chaque partie de circuit est une surface d'un dernier des niveaux de connexions de celle-ci, situé d'un côté opposé au substrat.

Selon un premier perfectionnement de l'invention, l'une au moins des

deux portions initiales de la connexion qui est réalisée à l'étape /2/ peut déboucher initialement sur la face d'application de la partie de circuit correspondante avec un retrait par rapport à cette face. Un tel retrait des portions initiales de connexion garantit que ces portions ne forment aucune protubérance par rapport aux faces d'application des parties de circuit, qui
5 pourraient gêner la réalisation du collage moléculaire. Le procédé est alors encore plus robuste, en ce qui concerne la cohésion mécanique du circuit complet.

Dans ce cas, les matériaux initiaux des deux portions de connexion
10 sont sélectionnés pour former une liaison entre les deux portions de connexion à travers le(s) retrait(s). Par exemple, le (les) matériau(x) initial (initiaux) de l'une des portions de la connexion peut (peuvent) être choisi(s) pour diffuser à l'étape /2/ à travers le retrait et entrer ainsi en contact avec l'autre portion, afin de former l'alliage conducteur.

15 Alternativement, les matériaux initiaux des deux portions de connexion peuvent être sélectionnés de sorte que l'alliage conducteur qui est formé à l'étape /2/ comble au moins en partie le retrait par une expansion volumique de l'alliage par rapport aux matériaux initiaux. La liaison entre les deux portions de connexion résulte alors de cette expansion volumique, sans qu'une diffusion
20 importante de l'un des matériaux initiaux soit indispensable.

Selon un second perfectionnement de l'invention, l'une au moins des deux portions de la connexion peut contenir initialement des quantités de tous les matériaux qui sont nécessaires pour former une partie de l'alliage conducteur au sein de cette portion, conformément à une composition
25 chimique définitive de cet alliage dans le circuit. L'alliage conducteur est alors formé en premier lieu au sein de cette portion de connexion, puis il établit la liaison avec la portion de connexion de l'autre partie de circuit. Un bon contact électrique est alors assuré avec encore plus de fiabilité dans la connexion, au moins du côté de la portion qui contient initialement tous les matériaux
30 constitutifs de l'alliage.

Lorsque les deux perfectionnements précédents sont combinés, la liaison de connexion en alliage conducteur est initiée puis croît à l'étape /2/ à

partir de la portion de connexion qui contient initialement tous les matériaux constitutifs de l'alliage, en comblant le retrait. La robustesse du procédé pour établir une connexion électrique qui est fiable est alors encore supérieure.

5 L'invention propose aussi un circuit électronique intégré tel qu'obtenu par un procédé selon l'invention. Ce circuit comprend deux parties qui sont assemblées suivant une interface de collage moléculaire, et au moins une connexion qui relie électriquement ces deux parties l'une à l'autre à travers l'interface. La connexion comprend une portion d'un alliage conducteur qui traverse l'interface.

10 L'invention propose enfin une partie de circuit électronique intégré adaptée pour mettre en œuvre un procédé d'assemblage selon l'invention. Une telle partie de circuit comprend :

- une face d'application qui est constituée, dans au moins une zone de celle-ci, d'un matériau adapté pour produire un collage moléculaire ; et
- 15 - au moins une portion de connexion électrique qui débouche sur cette face d'application, et qui contient une quantité d'un matériau apte à former un alliage conducteur lorsqu'il est en contact avec un autre matériau approprié et chauffé.

20 D'autres particularités et avantages de la présente invention apparaîtront dans la description ci-après de deux exemples de mise en œuvre non limitatifs, en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- les figures 1a-1c illustrent différentes étapes d'un procédé d'assemblage d'un circuit électronique intégré, conforme à l'invention ; et
- 25 - la figure 2 illustre une variante de mise en œuvre du procédé des figures 1a-1c.

Pour raison de clarté, les dimensions des éléments qui sont représentés sur ces figures ne sont pas en proportion avec des dimensions ni des rapports de dimensions réels. Ces figures sont des vues en coupe de circuits électroniques intégrés en cours de fabrication. On désigne par N une direction attachée à chaque substrat de circuit qui est utilisé. La direction N est perpendiculaire à une surface plane de ce substrat, et est orientée vers

30

l'extérieur de celui-ci, à travers sa surface. Les mots «sur», «sous», «inférieur» et «supérieur» qui sont utilisés dans la suite le sont en référence à cette orientation pour chaque substrat. En outre, des références identiques sur des figures différentes désignent des éléments identiques.

5 Conformément à la figure 1a, une première partie de circuit électronique intégré, référencée 1A, peut présenter elle-même une structure usuelle de circuit électronique intégré. En particulier, la partie de circuit 1A comprend un substrat 3A sur lequel sont disposés des transistors 4A qui sont représentés schématiquement par des structures de grilles MOS. Des niveaux
10 de connexions 5A sont superposés sur le substrat 3A, de sorte que la face supérieure S_A de la partie 1A, selon la direction N qui est attachée à cette partie de circuit, est la surface supérieure d'un dernier des niveaux de connexions 5A. Ce dernier niveau 5A est situé d'un côté de la partie de circuit 1A opposé au substrat 3A.

15 La partie de circuit 1A peut avoir une fonction matérielle ou logique déterminée, au sein d'un circuit complet dans lequel elle est destinée à être assemblée. Cette fonction peut être, à titre d'exemple, une fonction de connexion extérieure, une fonction de mémoire à accès aléatoire, une fonction de communication multimédia, une fonction de bande de base analogique ou
20 numérique, une fonction radio, une fonction d'alimentation, une fonction d'interface d'utilisateur, etc.

Une seconde partie de circuit électronique intégré, qui est référencée 1B, peut avoir une structure qui est analogue à celle de la partie 1A, sans être identique à celle-ci pour ce qui concerne la nature des composants
25 électroniques de chaque partie de circuit, leur agencement et leurs connexions au sein de celle-ci. De cette façon, la partie de circuit 1B peut avoir une fonction qui est différente de celle de la partie de circuit 1A. Les références numériques qui sont relatives à la partie de circuit 1B sont construites d'une façon similaire à celles de la partie 1A, pour des significations identiques, en
30 remplaçant la lettre A par B.

Les deux parties de circuit 1A et 1B sont destinées à être assemblées par application de leurs faces respectives S_A et S_B l'une contre l'autre. Pour

cette raison, ces faces sont appelées faces d'application. Afin d'obtenir un assemblage définitif des deux parties de circuit 1A et 1B par collage moléculaire, chaque partie de circuit 1A, 1B est initialement à base de silicium (Si) ou de silice (SiO_2) dans une zone au moins de la face d'application S_A , S_B correspondante. Par exemple, les derniers niveaux de connexions 5A et 5B sont constitués à partir de couches de silice qui forment elles-mêmes les faces S_A et S_B en dehors de portions de connexions électriques 2A, 2B qui débouchent à la surface de ces niveaux. Alternativement, ces derniers niveaux 5A et 5B peuvent être partiellement recouverts d'un revêtement de silicium, en dehors des portions de connexions 2A, 2B.

Les portions de connexions 2A et 2B, qui appartiennent respectivement aux parties de circuit 1A et 1B, sont destinées à relier électriquement ces deux parties de circuit dans l'assemblage du circuit final. Pour cela, les portions de connexions 2A et 2B apparaissent découvertes au niveau des faces S_A et S_B en étant réparties dans celles-ci par paires, les portions 2A, 2B d'une même paire venant en vis-à-vis lorsque les deux parties de circuit 1A et 1B sont placées l'une en face de l'autre selon leurs positions finales dans l'assemblage. Autrement dit, les portions de connexions 2A et 2B sont réparties respectivement dans les faces S_A et S_B selon une relation de symétrie-miroir. Au sein de chaque partie de circuit, les portions de connexions 2A, 2B sont connectées électriquement à des composants électroniques de cette partie de circuit par des pistes de connexions 6A, 6B qui sont disposées dans les niveaux 5A, 5B.

Les portions de connexions 2A, 2B peuvent avoir des dimensions transversales d très réduites, compatibles avec le niveau d'intégration des parties de circuit 1A, 1B. Par exemple, ces dimensions d peuvent être de l'ordre de $1\ \mu\text{m}$ (micromètre), voire $0,2\ \mu\text{m}$, parallèlement aux faces S_A et S_B . Des dimensions inférieures peuvent aussi être utilisées, notamment pour l'une des deux portions de connexion lorsque l'autre portion de connexion a des dimensions compatibles avec les contraintes d'alignement des deux parties de circuit l'une par rapport à l'autre. De telles dimensions d réduites peuvent être comprises entre $5\ \text{nm}$ (nanomètre) et $0,1\ \mu\text{m}$. Evidemment, les parties de circuit 1A et 1B peuvent chacune comprendre un grand nombre de telles

portions de connexions 2A et 2B, selon les échanges de signaux électriques qui sont nécessaires pour les fonctions de ces parties de circuit.

Lors d'une première étape d'assemblage des deux parties de circuit 1A et 1B, celles-ci sont amenées en contact par leurs faces d'application S_A et S_B ,
5 en les alignant l'une par rapport à l'autre de sorte que les portions de connexions 2A et 2B sont en vis-à-vis par paires. Un premier chauffage de l'ensemble est effectué, pour réaliser le collage moléculaire. Cette étape de collage moléculaire est réalisée en elle-même d'une façon qui est connue de l'Homme du métier. Notamment, lorsque le matériau de collage des faces S_A et
10 S_B est la silice, la température de ce premier chauffage peut être d'environ 300°C. Lorsque le matériau de collage est le silicium, la température de collage est supérieure à 600°C.

Pour obtenir un collage solide, les faces S_A et S_B ont été préalablement rendues planes, par exemple par polissage. Elles présentent alors une faible
15 rugosité et aucune portion de connexion 2A, 2B ne déborde au-delà du niveau de la surface d'application correspondante, selon la direction N. De préférence, les portions de connexions 2A et 2B présentent, au moment du collage moléculaire, des retraits respectifs R_A et R_B par rapport aux faces d'application S_A et S_B . De tels retraits assurent notamment que les portions 2A et 2B
20 n'apparaîtront pas lors du collage en proéminence par rapport aux faces d'application, par exemple à cause de dilatations thermiques relatives de ces portions par rapport aux matériaux environnants des niveaux de connexions 5A et 5B. Ces retraits peuvent être compris entre quelques dixièmes de nanomètre et 30 nm. Par exemple, ils peuvent être égaux à 10 nm. Ils peuvent être
25 obtenus notamment en réalisant un dépôt du matériau de collage sur les derniers niveaux 5A, 5B, sélectivement en dehors des portions 2A et 2B.

A l'issue du collage, la configuration du circuit est celle représentée sur la figure 1b. Les deux parties de circuit 1A et 1B sont alors solidaires et les faces d'application S_A et S_B sont confondues pour former une interface de
30 collage notée I.

Une seconde étape du procédé consiste à former les connexions électriques entre les deux parties de circuit 1A et 1B, à partir des portions de

connexions 2A et 2B.

Pour cela, les deux portions 2A et 2B d'une même paire sont constituées de matériaux respectifs qui sont capables de réagir chimiquement pour former un alliage conducteur. Cet alliage établit alors une continuité
5 électrique de la connexion formée. La connexion obtenue est référencée 2 sur la figure 1c.

Selon une première possibilité, l'une des deux portions 2A, 2B d'une même paire contient initialement une quantité de silicium (Si), et l'autre portion de cette paire contient initialement au moins un métal qui est sélectionné parmi
10 le cuivre (Cu), le cobalt (Co), le nickel (Ni), le titane (Ti), le tungstène (W), l'iridium (Ir) et le platine (Pt). L'alliage conducteur de la connexion 2 est alors un siliciure de ce métal, tel que, par exemple, CoSi_2 ou NiSi .

Selon une seconde possibilité, l'une des deux portions 2A, 2B d'une même paire contient initialement une quantité de cuivre (Cu), et l'autre portion
15 de cette paire contient initialement une quantité d'étain (Sn). L'alliage conducteur de la connexion 2 est alors un alliage de cuivre et d'étain, capable de réaliser une soudure entre les portions 2A et 2B. Cet alliage peut présenter, notamment, une stœchiométrie proche de Cu_3Sn .

Le circuit est chauffé une seconde fois de façon à réaliser
20 simultanément toutes les connexions 2, en formant autant de portions d'alliage conducteur. La température de ce second chauffage peut être, par exemple, supérieure à 700°C , en fonction des matériaux des portions de connexions 2A et 2B. Ce second chauffage peut en outre renforcer le collage moléculaire qui a été réalisé lors du premier chauffage.

Lorsque les portions de connexions 2A, 2B présentent des retraits R_A , R_B , le second chauffage peut être adapté pour provoquer une diffusion de l'un
25 au moins des matériaux des portions 2A, 2B d'une même paire à travers les retraits R_A , R_B de celle-ci. Grâce à une telle diffusion, les matériaux initiaux des portions 2A et 2B entrent en contact puis réagissent pour former la portion
30 l'alliage conducteur. La connexion 2 comble alors partiellement les retraits R_A et R_B en formant un chemin électrique continu qui relie les deux portions 2A et 2B.

De préférence, la formation de l'alliage conducteur de la connexion 2 provoque une expansion volumique globale des matériaux initiaux qui réagissent chimiquement à l'issue du second chauffage. Autrement dit, le bilan des variations de volumes des matériaux qui interviennent dans la réaction chimique de formation de l'alliage conducteur est positif, en tenant compte des coefficients stœchiométriques de cette réaction. Les retraits R_A , R_B peuvent alors être comblés entièrement, ou presque entièrement.

La figure 2 illustre un perfectionnement de l'invention, selon lequel l'une au moins des portions de connexion 2A, 2B d'une même paire incorpore elle-même initialement tous les matériaux initiaux qui sont nécessaires à la formation de l'alliage conducteur. Ainsi, l'alliage conducteur est d'abord formé au sein de cette portion de connexion lors du second chauffage. La fonctionnalité électrique de cette portion de connexion est ainsi assurée, notamment lorsque toute cette portion de connexion est convertie en alliage conducteur. En outre, lorsque cette formation produit une expansion volumique, l'alliage conducteur comble le retrait R_A , R_B de cette portion jusqu'à établir un contact avec l'autre portion de connexion qui est située en vis-à-vis. La réaction de formation de l'alliage conducteur peut alors se poursuivre avec le matériau initial de l'autre portion de connexion, par diffusion à travers la connexion 2 en cours de formation.

De façon préférée, les deux portions de connexion 2A et 2B d'une même paire incorporent chacune tous les matériaux initiaux qui sont nécessaires à la réaction de formation de l'alliage conducteur. Ainsi, lors du second chauffage, de l'alliage conducteur est d'abord formé indépendamment au sein de chaque portion de connexion 2A, 2B. Lorsque la formation de l'alliage conducteur produit une expansion volumique, les deux portions de connexion 2A, 2B croissent simultanément de chaque côté de l'interface de collage 1 et fusionnent sensiblement au niveau de celle-ci pour former la connexion 2 complète. Les retraits R_A et R_B sont alors comblés en garantissant d'une façon encore plus sûre un fonctionnement électrique correct de la connexion.

Sur la figure 2, chaque portion de connexion 2A, resp. 2B, comprend

deux sous-portions de matériaux initiaux 21A et 22A, resp. 21B et 22B. Par exemple, les sous-portions 21A et 21B sont en silicium polycristallin (Si-poly) et les sous-portions 22A et 22B sont en cobalt (Co). La portion d'alliage conducteur qui forme la connexion 2 est alors en siliciure de cobalt (CoSi_2).

5 Pour la configuration des sous-portions qui est représentée, la connexion 2 qui est formée peut remplacer entièrement les sous-portions 21A, 21B, 22A et 22B en comblant simultanément les retraits R_A et R_B . Autrement dit, la connexion 2 qui est formée est homogène dans tout l'espace disponible pour celle-ci. Elle est alors particulièrement fiable et possède une résistance électrique qui est
10 faible.

En outre, comme représenté sur la figure 2, les sous-portions 21A, 21B, 22A et 22B sont disposés initialement de façon croisée, par rapport à l'interface de collage et la direction d'application des parties de circuit, et par rapport aux matériaux initiaux de ces sous-portions.

15 De façon générale, les portions de connexions qui sont utilisées pour connecter électriquement deux parties de circuit selon la présente invention, peuvent être munies de couches à effet de barrière au sein de chaque partie de circuit. De telles couches à effet de barrière évitent ou réduisent des échanges atomiques par diffusion qui pourraient se produire entre ces portions
20 de connexions et des zones de circuit voisines. De cette façon, les propriétés électriques, de conduction ou d'isolation, de chaque portion ou composant du circuit sont préservées, notamment lors du second chauffage du circuit qui est utilisé pour connecter électriquement les deux parties de circuit l'une à l'autre. De telles couches à effet barrière, référencées 7A et 7B sur la figure 2, peuvent
25 entourer initialement certaines des portions de connexions 2A, 2B, sur des côtés de celles-ci parallèles à la direction N notamment.

Enfin, il est entendu que l'invention peut être reproduite en introduisant des modifications par rapport aux modes de mise en œuvre qui ont été décrits en détail ci-dessus, tout en conservant certains au moins des avantages qui
30 ont été rapportés. En particulier, les deux parties de circuit qui sont assemblées peuvent avoir une orientation dans le circuit final, selon laquelle les deux substrats sont tournés dans un même sens. Pour cela, la face d'application de

- 14 -

l'une des deux parties de circuit peut encore être la face supérieure du dernier niveau de connexions de cette partie, alors que la surface d'application de l'autre partie de circuit correspond à une surface arrière du substrat correspondant, d'un côté de ce dernier opposé aux niveaux de connexions qui sont portés par celui-ci. Dans ce cas, les portions de connexions de la partie de circuit qui est assemblée par la face arrière du substrat peuvent traverser le substrat de cette partie.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'assemblage de deux parties (1A, 1B) d'un circuit électronique intégré (1) suivant lequel chaque partie de circuit comprend initialement :

- 5 - une face d'application (S_A , S_B) constituée, dans au moins une zone de ladite face, d'un matériau adapté pour produire un collage moléculaire et,
- 10 - au moins une portion de connexion électrique (2A) débouchant sur la face d'application de ladite partie du circuit, et disposée pour être en vis-à-vis avec une portion de connexion (2B) de l'autre partie de circuit lorsque les deux faces d'application sont mises en contact en étant alignées l'une par rapport à l'autre,

ledit procédé comprenant les étapes successives suivantes :

15 /1/ assembler les deux parties de circuit (1A, 1B) l'une avec l'autre, par collage moléculaire des faces d'application (S_A , S_B), de sorte que les portions de connexion respectives des deux parties de circuit soient en vis-à-vis ; et

20 /2/ chauffer l'assemblage de circuit de façon à provoquer une formation d'un alliage conducteur électriquement à partir de matériaux initiaux des deux portions de connexion (2A, 2B), pour réaliser une connexion (2) reliant électriquement lesdites deux parties de circuit assemblées.

2. Procédé selon la revendication 1, suivant lequel l'une au moins des deux portions initiales (2A, 2B) de la connexion (2) réalisée à l'étape /2/ débouche sur la face d'application de la partie de circuit correspondante (S_A ,
25 S_B) avec un retrait (R_A , R_B) par rapport à ladite face.

3. Procédé selon la revendication 2, suivant lequel les matériaux initiaux des deux portions de connexion (2A, 2B) sont sélectionnés de sorte que l'alliage conducteur formé à l'étape /2/ comble au moins en partie ledit retrait (R_A , R_B) par une expansion volumique dudit alliage par rapport aux dits

matériaux initiaux, en établissant la liaison entre lesdites deux portions de connexion.

4. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, suivant lequel l'une au moins des deux portions initiales (2A, 2B) de la
5 connexion réalisée à l'étape /2/ contient, au sein de ladite portion, des quantités de tous les matériaux nécessaires pour former une partie de l'alliage conducteur conformément à une composition chimique définitive dudit alliage.

5. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, suivant lequel chaque partie de circuit (1A, 1B) est initialement à base de
10 silicium ou de silice dans une zone au moins de la surface d'application (S_A , S_B) correspondante.

6. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, suivant lequel l'une des deux portions (2A) de la connexion (2) réalisée à l'étape /2/ contient initialement une quantité de silicium, et l'autre portion (2B) de ladite
15 connexion contient initialement au moins un métal sélectionné parmi le cuivre, le cobalt, le nickel, le titane, le tungstène, l'iridium et le platine, l'alliage conducteur formé étant un siliciure dudit métal.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, suivant lequel l'une des deux portions (2A) de la connexion (2) réalisée à l'étape /2/
20 contient initialement une quantité de cuivre, et l'autre portion (2B) de ladite connexion contient initialement une quantité d'étain, l'alliage conducteur formé étant un alliage de cuivre et d'étain.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes, suivant lequel chaque partie de circuit (1A, 1B) comprend un substrat (3A, 3B)
25 sur lequel sont disposés des transistors (4A, 4B) et des niveaux de connexions superposés (5A, 5B), la face d'application de chaque partie de circuit (S_A , S_B) étant une surface d'un dernier des niveaux de connexions de ladite partie de circuit, situé d'un côté opposé au substrat correspondant.

9. Circuit électronique (1) intégré comprenant deux parties de circuit
30 (1A, 1B) assemblées suivant une interface de collage moléculaire (I), et au

moins une connexion reliant électriquement les deux parties de circuit l'une à l'autre à travers ladite interface, ladite connexion comprenant une portion d'un alliage conducteur (2) traversant ladite interface.

10. Circuit selon la revendication 9, dans lequel chaque partie de circuit (1A, 1B) comprend un substrat (3A, 3B) sur lequel sont disposés des transistors (4A, 4B) et des niveaux de connexions superposés (5A, 5B), l'interface d'assemblage des deux parties du circuit (I) correspondant à des surfaces de derniers niveaux de connexions respectifs des dites parties de circuit, situés sur des côtés des dites parties de circuit opposés aux substrats correspondants.

11. Partie de circuit électronique intégré (1A) comprenant :

- une face d'application (S_A) constituée, dans au moins une zone de ladite face, d'un matériau adapté pour produire un collage moléculaire ; et
- au moins une portion de connexion électrique (2A) débouchant sur la face d'application, et contenant une quantité d'un matériau apte à former un alliage conducteur lorsqu'il est en contact avec un autre matériau approprié et chauffé.

12. Partie de circuit selon la revendication 11, dans laquelle la portion de connexion électrique (2A) débouche sur la face d'application (S_A) avec un retrait (R_A) par rapport à ladite face.

13. Partie de circuit selon la revendication 11 ou 12, comprenant un substrat (3A) sur lequel sont disposés des transistors (4A) et des niveaux de connexions superposés (5A), la face d'application (S_A) étant une surface d'un dernier des niveaux de connexions de ladite partie de circuit, situé d'un côté opposé au substrat.

14. Partie de circuit selon l'une quelconque des revendications 11 à 13, dans laquelle la portion de connexion (2A) contient des quantités de tous les matériaux nécessaires pour former une partie de l'alliage conducteur conformément à une composition chimique définitive dudit alliage.

1/2

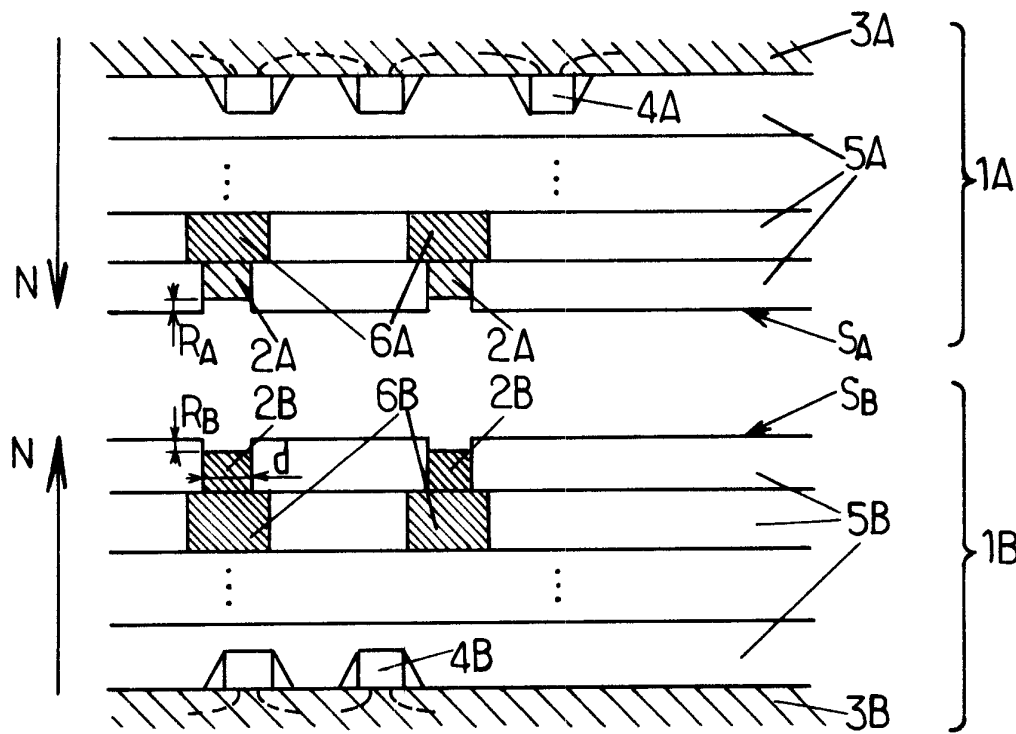


FIG.1a.

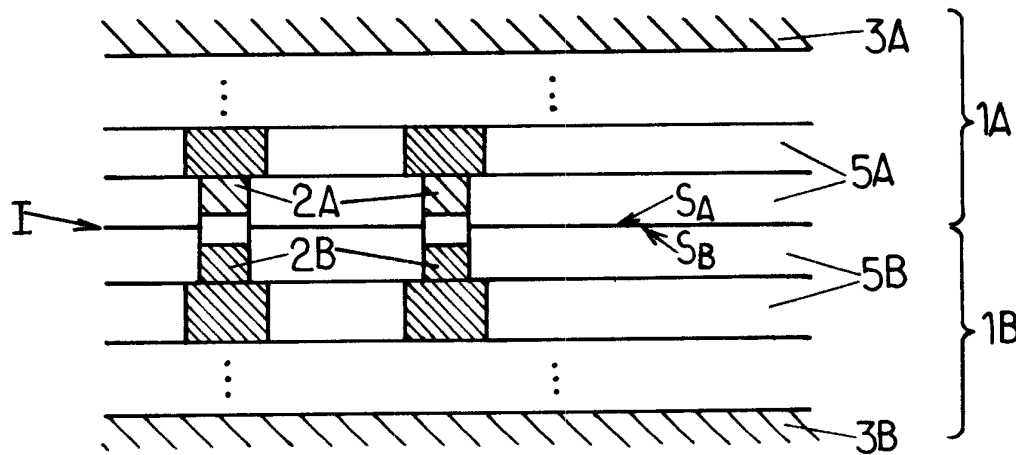


FIG.1b.

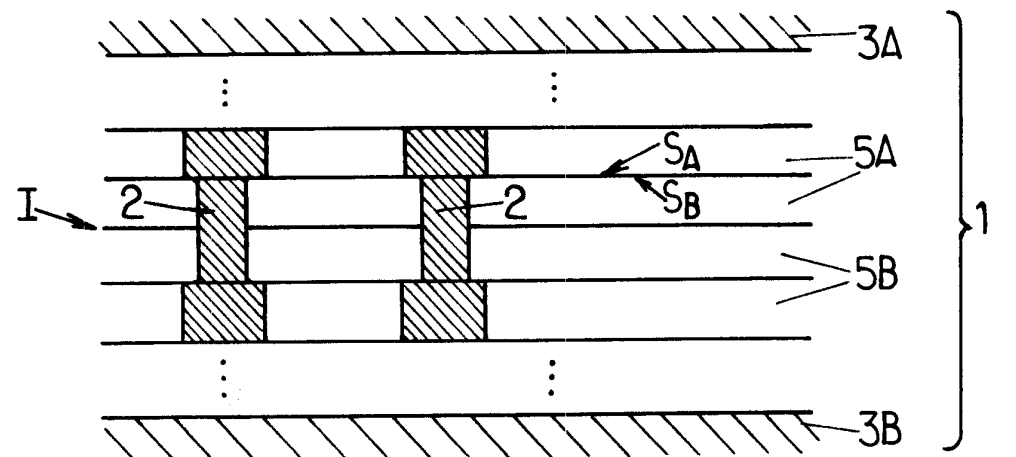


FIG.1c.

2/2

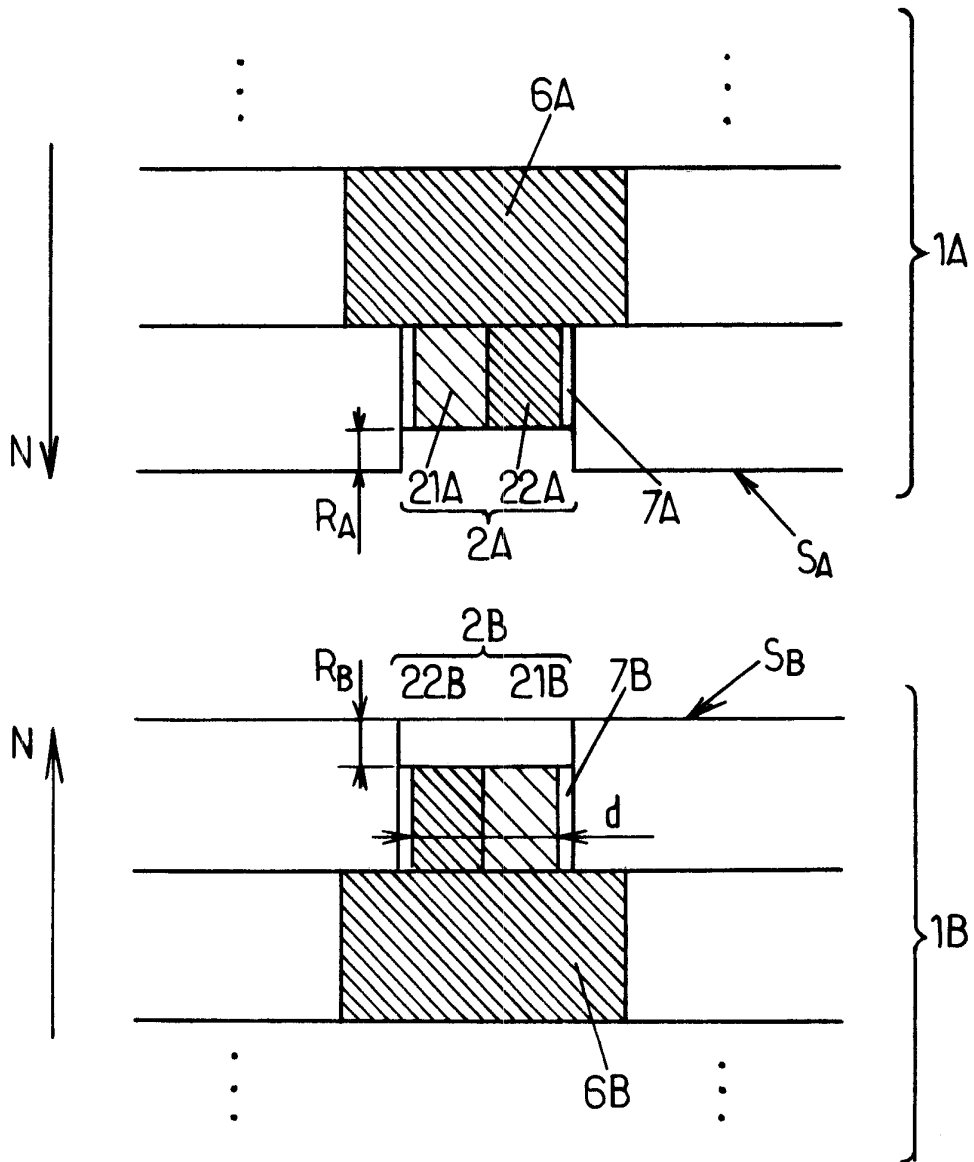


FIG.2.



**RAPPORT DE RECHERCHE
PRÉLIMINAIRE**

N° d'enregistrement
national

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

FA 690417
FR 0701269

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	US 6 080 640 A (GARDNER MARK I [US] ET AL) 27 juin 2000 (2000-06-27) * abrégé; figures 5-7 *	9,11	H01L21/50 H01L21/60 H01L23/48
A	* colonne 6, ligne 56 - colonne 9, ligne 50 *	1	
X	US 5 419 806 A (HUEBNER HOLGER [DE]) 30 mai 1995 (1995-05-30) * abrégé; figures 3,4 *	9,11	
A	* colonne 2, ligne 35 - colonne 6, ligne 22 *	1,2	
X	US 2005/170626 A1 (SUGA TADATOMO [JP]) 4 août 2005 (2005-08-04) * abrégé; figures 2A-4 *	9,11	
X	US 2002/074670 A1 (SUGA TADATOMO [JP]) 20 juin 2002 (2002-06-20) * abrégé; figures 1-6 *	9,11	
A	US 6 166 438 A (DAVIDSON HOWARD L [US]) 26 décembre 2000 (2000-12-26) * abrégé; figure 21 *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (IPC) H01L
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
7 novembre 2007		Favre, Pierre	
<p>CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS</p> <p>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</p>		<p>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</p>	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0701269 FA 690417**

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 07-11-2007

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
US 6080640 A	27-06-2000	US 6097096 A	01-08-2000
US 5419806 A	30-05-1995	EP 0610709 A1 JP 6260594 A	17-08-1994 16-09-1994
US 2005170626 A1	04-08-2005	AUCUN	
US 2002074670 A1	20-06-2002	AUCUN	
US 6166438 A	26-12-2000	AUCUN	