

19 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
INSTITUT NATIONAL
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE
COURBEVOIE

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

3 145 934

21 N° d'enregistrement national : 24 01374

51 Int Cl⁸ : C 04 B 37/00 (2024.01), C 04 B 35/80, 41/85

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 13.02.24.

30 Priorité : 16.02.23 US 18/170059.

43 Date de mise à la disposition du public de la
demande : 23.08.24 Bulletin 24/34.

56 Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : Ce dernier n'a pas été
établi à la date de publication de la demande.

60 Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

○ Demande(s) d'extension :

71 Demandeur(s) : General Electric Company Société de
droit américain — US.

72 Inventeur(s) : SHIANG Joseph John, WEAVER
Jared Hogg, MAGNANT Jerome Geoffrey et DUNN
Daniel Gene.

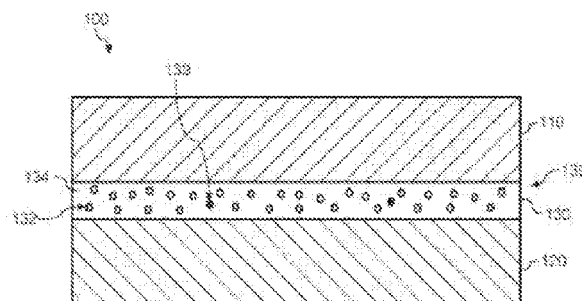
73 Titulaire(s) : General Electric Company Société de
droit américain.

74 Mandataire(s) : Casalonga.

54 PROCÉDÉS DE JONCTION DE COMPOSANTS COMPOSITES POUR FORMER UN COMPOSANT COMPOSITE
UNITAIRE.

57 Des procédés de jonction d'un premier composant cé-
ramique (110) à un deuxième composant céramique (120)
pour former un composant céramique unitaire (102) sont
proposés. Le procédé comprend le positionnement d'une
feuille de liaison (130) entre un premier composant céra-
mique et un deuxième composant céramique. La feuille de
liaison définit une pluralité de vides (132). Le procédé com-
prend également la densification de la feuille de liaison avec
une composition d'infiltration à une température de densifi-
cation pour former une interface de liaison comprenant un
matériau céramique qui forme une interface de liaison entre
le premier composant céramique et le deuxième composant
céramique dans un composant céramique unitaire.

Figure pour l'abrégé : Fig 1



FR 3 145 934 - A1



Description

Titre de l'invention : PROCÉDÉS DE JONCTION DE COMPOSANTS COMPOSITES POUR FORMER UN COMPOSANT COMPOSITE UNITAIRE

Domaine technique

[0001] La présente invention concerne, de manière générale, la jonction de composants composites les uns aux autres, avec les composants composites unitaires résultants.

CONTEXTE TECHNIQUE

[0002] Plus généralement, des composants céramiques sont utilisés dans diverses applications, comme des moteurs de turbine à gaz. En particulier, des matériaux composites à matrice céramique (CMC) sont plus fréquemment utilisés pour diverses applications à haute température. Par exemple, grâce à la capacité des matériaux CMC à résister à des températures relativement extrêmes, il est particulièrement intéressant de remplacer des composants à l'intérieur d'un trajet d'écoulement de gaz de combustion d'un moteur de turbine à gaz par des composants constitués de matériaux CMC. Des couches du matériau CMC peuvent être posées pour former un composant de préforme qui peut ensuite subir un traitement thermique et/ou chimique pour donner un composant formé d'un matériau CMC présentant une composition chimique souhaitée.

BRÈVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0003] Une description complète et suffisante de la présente divulgation, y compris le meilleur mode de réalisation de celle-ci, destinée à l'homme du métier, est présentée dans le mémoire en référence aux dessins annexés sur lesquels :

[0004] [Fig.1] représente une vue schématique en coupe transversale d'un composant céramique exemplaire comprenant un matériau céramique formé à partir d'une feuille de liaison densifiée qui forme une interface de liaison entre un premier composant céramique et un deuxième composant céramique pour former un composant unitaire ;

[0005] [Fig.2] représente une vue schématique en coupe transversale d'un autre composant céramique exemplaire comprenant un matériau céramique formé à partir d'une feuille de liaison densifiée qui forme une interface de liaison entre un premier composant céramique et un deuxième composant céramique pour former un composant unitaire ;

[0006] [Fig.3] représente une vue schématique en perspective d'une feuille de liaison exemplaire qui forme une interface de liaison entre un premier composant céramique et un deuxième composant céramique pour former un composant unitaire ;

[0007] [Fig.4] représente une vue schématique en coupe transversale d'un autre composant céramique unitaire comprenant un matériau céramique qui forme une interface de

liaison entre un premier composant céramique et un deuxième composant céramique ;
et

[0008] [Fig.5] représente un organigramme d'un procédé de formation d'un composant céramique unitaire selon un mode de réalisation exemplaire de la présente divulgation.

[0009] L'usage répété de caractères de référence dans le présent mémoire et les dessins annexés est censé représenter des caractéristiques ou éléments identiques ou analogues de la présente divulgation.

DÉFINITION

[0010] Tel qu'utilisé dans les présentes, le mot « exemplaire » signifie « servant d'exemple, d'instance ou d'illustration ». Toute mise en œuvre décrite dans les présentes comme étant « exemplaire » ne doit pas forcément être interprétée comme étant préférée ou avantageuse par rapport à d'autres mises en œuvre. De plus, sauf indication contraire, tous les modes de réalisation décrits dans les présentes doivent être considérés comme étant exemplaires.

[0011] Tel qu'utilisés dans les présentes, les termes « premier », « deuxième » et « troisième » peuvent être utilisés de manière interchangeable pour distinguer un composant d'un autre composant et ils ne sont pas censés signifier un emplacement ou une importance des composants individuels.

[0012] Dans la présente divulgation, lorsqu'une couche est décrite comme étant « sur » ou « au-dessus de » une autre couche ou un autre substrat, il faut bien comprendre que les couches peuvent soit être directement en contact l'une avec l'autre soit avoir une autre couche ou une autre caractéristique entre les couches, sauf indication contraire. Ainsi, ces termes décrivent simplement la position relative des couches l'une par rapport à l'autre et ne signifient pas forcément « au sommet de » puisque la position relative au-dessus ou au-dessous dépend de l'orientation du dispositif par rapport au lecteur.

[0013] Des éléments chimiques sont abordés dans la présente divulgation en utilisant leur abréviation chimique commune, telle qu'indiquée communément dans une table périodique d'éléments. Par exemple, l'hydrogène est représenté par son abréviation chimique commune H ; l'hélium est représenté par son abréviation chimique commune He ; et ainsi de suite.

[0014] Tel qu'utilisé dans les présentes, le terme « polymère » comprend généralement, sans être limité à cela, des homopolymères ; des copolymères, comme des copolymères séquencés, greffés, aléatoires et alternées ; et des terpolymères ; ainsi que des mélanges et des modifications de ceux-ci. En outre, sauf limitation spécifique contraire, le terme « polymère » doit comprendre toutes les configurations géométriques possibles du matériau. Ces configurations comprennent, sans être limitées à cela, des symétries isotactiques, syndiotactiques et aléatoires.

- [0015] Un « composant céramique densifié » est une céramique présentant une porosité inférieure à 70 % en volume. De plus, le composant céramique densifié est dans un état fini qui ne subit pas d'étapes de traitement supplémentaires destinées à améliorer ses propriétés mécaniques.
- [0016] En général, un composant céramique densifié présente une contrainte mécanique supérieure à 20 MPa, telle que mesurée par un essai de flexion à 3 points selon ASTM C1161-18.
- [0017] Tel qu'utilisé dans les présentes, un « composite à matrice céramique » ou « CMC » fait référence à une catégorie de matériaux comprenant un matériau de renforcement (par exemple des fibres de renforcement) entouré d'une phase de matrice céramique. En général, les fibres de renforcement confèrent une intégrité structurelle à la matrice céramique. Certains exemples de matériaux à matrice de CMC peuvent comprendre, sans être limités à cela, des matériaux à base de silicium non oxyde (par exemple du carbure de silicium, du nitrure de silicium ou des mélanges de ceux-ci), du carbone, des céramiques d'oxyde (par exemple des oxycarbures de silicium, des oxynitrures de silicium, de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3), du dioxyde de silicium (SiO_2), des aluminosilicates ou des mélanges de ceux-ci), ou des mélanges de ceux-ci. Facultativement, des particules céramiques (par exemple des oxydes de Si, Al, Zr, Y et des combinaisons de ceux-ci) et des charges inorganiques (par exemple pyrophyllite, wollastonite, mica, talc, cyanite et montmorillonite) peuvent également être comprises à l'intérieur de la matrice de CMC.
- [0018] Certains exemples de fibres de renforcement de CMC peuvent comprendre, sans être limités à cela, des matériaux à base de silicium non oxyde (par exemple du carbure de silicium, du nitrure de silicium ou des mélanges de ceux-ci), des matériaux à base de carbone non oxyde (par exemple du carbone), des céramiques d'oxyde (par exemple des oxycarbures de silicium, des oxynitrures de silicium, de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3), du dioxyde de silicium (SiO_2), des aluminosilicates comme de la mullite ou des mélanges de ceux-ci), ou des mélanges de ceux-ci.
- [0019] En général, il peut être fait référence à des CMC particuliers en tant que leur combinaison de type de fibre/type de matrice. Par exemple, C/SiC pour du carbure de silicium renforcé par des fibres de carbone ; SiC/SiC pour du carbure de silicium renforcé par des fibres de carbure de silicium ; SiC/SiN pour du nitrure de silicium renforcé par des fibres de carbure de silicium ; SiC/SiC-SiN pour un mélange de carbure de silicium renforcé par des fibres de carbure de silicium/matrice de nitrure de silicium, etc. Dans d'autres exemples, les CMC peuvent comprendre une matrice et des fibres de renforcement comprenant des matériaux à base d'oxyde comme de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3), du dioxyde de silicium (SiO_2), des aluminosilicates et

des mélanges de ceux-ci. Les aluminosilicates peuvent comprendre des matériaux cristallins comme de la mullite ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), ainsi que des aluminosilicates vitreux.

[0020] Dans certains modes de réalisation, les fibres de renforcement peuvent être mises en faisceau et/ou enduites avant de les inclure dans la matrice. Par exemple, des faisceaux des fibres peuvent être formés en tant qu'une bande renforcée, comme une bande renforcée unidirectionnelle. Une pluralité des bandes peuvent être posées les unes sur les autres pour former un composant de préforme. Les faisceaux de fibres peuvent être imprégnés d'une composition de suspension avant de former la préforme ou après la formation de la préforme. La préforme peut ensuite subir un traitement thermique et un traitement chimique suivant pour arriver à un composant formé d'un matériau CMC présentant une composition chimique souhaitée. Par exemple, la préforme peut subir un durcissement ou une calcination pour donner un résidu très charbonné dans la préforme, puis une infiltration par fusion de silicium, ou un durcissement ou une pyrolyse pour donner une matrice de carbure de silicium dans la préforme, puis une infiltration chimique en phase vapeur de carbure de silicium. Des étapes supplémentaires peuvent être adoptées pour améliorer une densification de la préforme, soit avant soit après l'infiltration chimique en phase vapeur, par l'injection d'une résine liquide ou d'un polymère dans celle-ci, suivie d'une étape de traitement thermique pour remplir les vides de carbure de silicium. Un matériau CMC tel qu'utilisé dans les présentes peut être formé en utilisant n'importe quel procédé connu ou développé ci-après comprenant, sans être limité à cela, une infiltration par fusion, une infiltration chimique en phase vapeur, une pyrolyse d'imprégnation de polymère (PIP) ou toute combinaison de celles-ci.

[0021] De tels matériaux, ainsi que certaines céramiques monolithiques (c'est-à-dire des matériaux céramiques sans matériaux de renforcement), conviennent particulièrement bien à des applications de températures supérieures. De plus, ces matériaux céramiques sont légers par rapport à des superalliages, tout en conférant une résistance et une durabilité au composant qu'ils constituent. Par conséquent, de tels matériaux sont couramment envisagés pour de nombreux composants de turbine à gaz utilisés dans des sections de températures supérieures de moteur de turbine à gaz, comme des profils aérodynamiques (par exemple des turbines et des aubes), des chambres de combustion, des carénages et d'autres composants similaires, qui profiteraient des capacités de poids légers et de températures supérieures que ces matériaux proposent.

[0022] Le terme « unitaire » tel qu'utilisé dans les présentes indique que le composant final présente une construction dans laquelle les parties intégrées sont inséparables et est différent d'un composant comprenant une pluralité de pièces de composant séparées qui ont été jointes mais restent distinctes et le composant unique n'est pas inséparable (c'est-à-dire que les pièces peuvent être reséparées). Ainsi, des composants unitaires

peuvent comprendre en général des pièces sensiblement continues de matériau ou peuvent comprendre une pluralité de parties qui sont liées de manière permanente les unes aux autres. Dans tous les cas, les diverses parties formant un composant unitaire sont intégrées les unes aux autres de telle sorte que le composant unitaire soit une pièce unique avec des parties inséparables.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE

- [0023] Des modes de réalisation de la divulgation, dont un ou plusieurs exemples sont illustrés sur les dessins, vont être décrits en détail ci-après. Chaque exemple est proposé à des fins d'explication de la divulgation, sans aucune limitation de la divulgation. En effet, l'homme du métier peut se rendre compte que diverses modifications et variations peuvent être apportées à la présente divulgation sans sortir du périmètre de la divulgation. Par exemple, des caractéristiques illustrées ou décrites dans le cadre d'un mode de réalisation peuvent être utilisées avec un autre mode de réalisation pour donner un mode de réalisation supplémentaire.
- [0024] De grands composants ou de grandes pièces en céramique avec une géométrie complexe peuvent être difficiles à fabriquer dans un ensemble unique et/ou à un rendement acceptable. Il s'agit notamment de composants CMC et d'autres matériaux céramiques. Pour résoudre ce problème, des procédés améliorés de fabrication de composants céramiques sont souhaitables.
- [0025] La présente divulgation porte en général sur des procédés de formation d'un composant céramique unitaire par la jonction d'au moins deux composants céramiques (par exemple la jonction d'un premier composant céramique avec un deuxième composant céramique et facultativement un troisième composant céramique, etc.). Le composant céramique unitaire résultant présente une construction unifiée dans laquelle les parties intégrées sont inséparables et liées de manière permanente les unes aux autres pour former un composant continu. Ainsi, un tel composant composite unitaire est différent d'un composant lié comprenant des pièces de composant séparées qui ont été jointes les unes avec les autres mais qui restent distinctes avec les pièces de composant qui sont séparables (c'est-à-dire que les pièces peuvent être reséparées). Des composants unitaires peuvent donc comprendre en général des pièces de matériau sensiblement continues ou peuvent comprendre une pluralité de parties qui sont liées de manière permanente les unes aux autres. Dans tous les cas, les diverses parties formant un composant céramique unitaire sont intégrées les unes aux autres de sorte que le composant unitaire soit une pièce unique avec des parties inséparables. Le composant céramique unitaire résultant peut donc être utilisé en tant que composant unitaire tout en étant formé dans un processus permettant de former plus facilement des formes complexes (par exemple sans processus compliqué de dépôt de couches).

- [0026] En général, le procédé de formation du composant céramique unitaire comprend l'utilisation d'une feuille de liaison dans une interface de liaison entre un premier composant céramique et un deuxième composant céramique. La feuille de liaison sert de support à la croissance d'un matériau céramique dans l'interface de liaison par l'intermédiaire d'un processus d'infiltration chimique en phase vapeur (CVI). De plus, la feuille de liaison définit une pluralité de trajets de vapeur à l'intérieur de celle-ci, comme sous la forme de vides et/ou de canaux qui vont être abordés en détail ci-après. Les trajets de vapeur permettent à une composition d'infiltration de pénétrer la feuille de liaison au cours du processus CVI, tout en servant de support de croissance de céramique. Réciproquement, la pluralité de trajets de vapeur permettent l'évacuation de produits de réaction gazeuse (lorsqu'ils sont formés) de la feuille de liaison. Le matériau céramique peut ainsi être formé sur toute l'épaisseur et/ou toute la longueur de l'interface de liaison entre les composants céramiques adjacents. Grâce à ces procédés, le composant céramique unitaire comprend une jonction constituée d'une feuille de liaison densifiée entre des composants céramiques adjacents.
- [0027] Des aspects de la présente divulgation peuvent présenter un certain nombre d'avantages par rapport à des procédés de jonction de composants céramiques conventionnels et à des jonctions conventionnelles. Par exemple, la feuille de liaison de la présente divulgation peut comprendre un film polymère ou un tissu présentant une architecture précisément régulée, une composition précisément régulée ou les deux. Par exemple, les dimensions de vides et l'espacement entre des vides dans la feuille de liaison peuvent être régulés de manière stratégique et précise, ce qui permet d'améliorer la densification de la feuille de liaison. L'utilisation d'une feuille de liaison peut donc permettre une application régulée et/ou une épaisseur régulée de ligne de liaison. De ce fait, la qualité de la jonction résultante entre deux substrats céramiques peut être améliorée pour être uniforme et formée de manière plus prévisible.
- [0028] En référence aux dessins annexés sur lesquels des numéros identiques indiquent les mêmes éléments sur les figures, les figures 1 et 2 représentent une vue en coupe transversale schématique d'un précurseur de composant céramique exemplaire 100. Le précurseur de composant céramique 100 comprend un premier composant céramique 110 et un deuxième composant céramique 120. Dans un mode de réalisation, le premier composant céramique 110 contient un premier matériau céramique et le deuxième composant céramique 120 contient un deuxième matériau céramique. Par exemple, le premier composant céramique 110, le deuxième composant céramique 120, ou les deux peuvent être un composite à matrice céramique (CMC). Par exemple, le premier composant céramique 110 peut contenir un premier matériau composite

à matrice céramique, et le deuxième composant céramique 120 peut contenir un deuxième matériau composite à matrice céramique.

[0029] Une feuille de liaison 130 est positionnée dans une interface de liaison 135 entre le premier composant céramique 110 et le deuxième composant céramique 120. La feuille de liaison 130 comprend une pluralité de vides 132 à l'intérieur de celle-ci. La feuille de liaison 130 peut être un film ou un tissu comprenant la pluralité de vides 132 à l'intérieur de celui-ci. Par exemple, des tissus appropriés peuvent inclure un tissu tissé, un tissu tricoté, un tissu tressé ou un tissu non tissé (par exemple un feutre céramique). Dans le mode de réalisation dans lequel la feuille de liaison 130 est un feutre céramique, la compressibilité d'un tel feutre céramique évite la nécessité d'exigences dimensionnelles strictes (qui imposent un usinage coûteux) des composants céramiques à joindre. Lorsqu'il est utilisé, un tel feutre compressible admet des discordances dimensionnelles du premier composant céramique et du deuxième composant céramique, ce qui peut éliminer la nécessité d'un usinage coûteux et difficile pour obtenir des surfaces d'accouplement de tolérance élevée.

[0030] Dans le mode de réalisation de la [Fig.1], la feuille de liaison 130 est représentée par exemple en tant qu'un film 134 avec une pluralité de vides 132 dispersés à l'intérieur de celui-ci. La feuille de liaison 130 peut être par exemple un film polymère qui est perforé pour comprendre une pluralité de vides 132 à l'intérieur de celui-ci. Dans un mode de réalisation, le film polymère peut comprendre un précurseur de matrice comme un matériau organique ou inorganique qui laisse du charbon/ un résidu après calcination, comme une pyrolyse ou une cuisson. Par exemple, le charbon peut servir d'adhésif maintenant la jointure en place avant une densification (par exemple une densification CVI), ce qui permet d'éviter la nécessité d'employer un outil pour maintenir les deux composants ensemble après la calcification mais avant la densification. Dans certains modes de réalisation, le précurseur de matrice peut comprendre un précurseur contenant du silicium pouvant être utilisé, comme cela est décrit ci-après, pour former un précurseur contenant du silicium poreux comme du carbure de silicium. Un précurseur de matrice peut être par exemple des polymères précéramiques (comme un polysilane, un polycarbosilane, un polysilazane, un polysiloxane ou un mélange de ceux-ci), ou des matériaux donnant du charbon de carbonisation, ou des mélanges de ceux-ci. Dans un aspect, le film polymère peut être chauffé pour convertir le film polymère en un film de préforme comportant au moins un vide, au moins un canal ou un mélange de ceux-ci.

[0031] Dans le mode de réalisation de la [Fig.2], la feuille de liaison 130 est représentée en tant qu'un tissu comprenant une pluralité de fibres 136, tissées ou non tissées, et définissant des vides 132 dans les zones interspatiales entre des fibres 136 adjacentes. Dans le mode de réalisation représenté, le tissu comprend une pluralité de premières

fibres 136 tissées avec une pluralité de deuxièmes fibres 138 et définissant des vides 132 dans les zones interspatiales entre des fibres 136, 138 adjacentes. Cette pluralité de vides 132 peuvent collaborer pour servir de trajet de vapeur défini à l'intérieur de la feuille de liaison 130. La pluralité de premières fibres 136, une pluralité de deuxièmes fibres 138 ou les deux peuvent généralement comprendre une grande diversité de composés présentant la capacité de résister à un processus thermique à haute température dans une atmosphère chimique agressive, comme un processus d'infiltration chimique en phase vapeur. Néanmoins, les composés dans la pluralité de premières fibres 136, dans une pluralité de deuxièmes fibres 138 ou dans les deux sont de préférence sélectionnés pour être compatibles chimiquement et/ou thermodynamiquement avec le premier composant céramique 110, le deuxième composant céramique 120 ou les deux. Dans un aspect, la pluralité de premières fibres 136, une pluralité de deuxièmes fibres 138 ou les deux peuvent donc comprendre du carbone, une céramique (par exemple du carbure de silicium) ou un mélange de ceux-ci.

[0032] Dans un mode de réalisation particulier, la feuille de liaison 130 peut comprendre au moins une fibre sacrificielle 137 qui est configurée pour être enlevée avant ou pendant une densification CVI. Dans un mode de réalisation, l'au moins une fibre sacrificielle 137 peut être enlevée avant le traitement CVI, comme par l'intermédiaire d'une fusion, d'une gravure/lixiviation chimique, d'une volatilisation ou d'une extraction chimique. Par exemple, des verres de silicate inorganiques, des verres de borate, des verres d'aluminate, ou des mélanges de ceux-ci peuvent être enlevés par fusion ou gravure chimique. De tels verres peuvent être dopés, dans des modes de réalisation particuliers, avec d'autres ions comme du sodium, du potassium ou du magnésium pour en outre ajuster le point de fusion. Des fibres métalliques peuvent également être incorporées et ensuite enlevées par utilisation sur un acide oxydant approprié, comme du HNO_3 , du H_2SO_4 , ou des mélanges de ceux-ci. En variante, dans un mode de réalisation, l'au moins une fibre sacrificielle 137 est configurée pour se vaporiser au cours du processus CVI pour former des canaux de vapeur où la fibre sacrificielle 137 a été initialement positionnée. Par exemple, l'au moins une fibre sacrificielle 137 peut définir une zone du tissu qui est fugitive (c'est-à-dire configurée pour s'évaporer, se détériorer ou autrement disparaître) lors du chauffage de la feuille de liaison 130 pour faciliter la formation d'au moins un canal 140 ([Fig.3]) dans la feuille de liaison 130. L'au moins une fibre sacrificielle 137 peut ainsi fournir des trajets précisément régulés pour l'application d'une densification à la feuille de liaison 130. Dans un aspect, la feuille de liaison 130 de la présente divulgation peut être chauffée pour calciner l'au moins une fibre sacrificielle 137 afin de former un canal 140 à l'intérieur de celle-ci. Des exemples de l'au moins une fibre sacrificielle 137 peuvent comprendre

des fibres contenant un matériau polymère (par exemple du butyral polyvinyle, du polyéthylène, du polypropylène, du polyamide, du nylon, du polytétrafluoroéthylène (PTFE), du polystyrène, de l'acétate polyvinyle ou de l'alcool polyvinyle), un matériau cellulosique, ou des combinaisons de ceux-ci.

- [0033] Un(des) vide(s) 132, un(des) canal(aux) 140 ou les deux peuvent également être formés par la fusion de particules ou par l'intermédiaire de réactions chimiques, comme une réaction chimique faisant réagir des particules de silicium dans la jointure avec des particules de carbone dans la jointure pour former du carbure de silicium, ce qui est une réaction qui est associée à une réduction de volume. Un exemple de fusion peut être la fusion de particules Si de la jointure et l'extraction du Si de la jointure pour l'intégrer à une structure poreuse fine dans l'une des pièces céramiques faisant l'objet d'une jonction. Puisque Si fond au-dessus de la température utilisée pour de nombreux processus CVI, une étape thermique distincte peut être réalisée avant CVI.
- [0034] En référence aux figures 1 et 2, la feuille de liaison 130 peut comprendre une pluralité de particules de formation de pores 139, qui peuvent être fugitives (c'est-à-dire configurées pour s'évaporer, se détériorer ou autrement disparaître) lors du chauffage de la feuille de liaison 130. La pluralité de particules de formation de pores 139 peut faciliter la formation d'au moins un vide 132 dans la feuille de liaison 130, en fournissant d'autres trajets régulés pour l'application d'une densification à la feuille de liaison 130. Dans un aspect, la feuille de liaison 130 de la présente divulgation peut être chauffée pour calciner des particules de formation de pores 139 et former au moins un vide 132 dans la feuille de liaison 130. Des exemples de particules de formation de pores 139 peuvent comprendre des particules contenant du butyral polyvinyle, du polyéthylène, du polypropylène, du polyamide, du nylon, du polytétrafluoroéthylène (PTFE), du polystyrène, de l'acétate polyvinyle ou de l'alcool polyvinyle, et/ou des poudres cellulosiques.
- [0035] La pluralité de vides 132, les particules de formation de pores 109 et/ou au moins une fibre sacrificielle 137 (cf. figures 1 et 2) peuvent former au moins un canal 140 dans un composant céramique unitaire résultant 102 lors du chauffage de la feuille de liaison 130, comme cela est représenté sur la [Fig.3]. Comme cela est illustré, l'au moins un canal 140 peut en général s'étendre d'un bord 105 du composant céramique unitaire 102 dans l'interface de liaison 135. Dans un tel mode de réalisation, l'au moins un canal 140 permet le transport d'une composition d'infiltration pour pénétrer la feuille de liaison 130 au cours d'un processus de densification (par exemple un processus CVI). Réciproquement, l'au moins un canal 140 permet l'évacuation de produits de réaction gazeuse (lorsqu'ils sont formés) de la feuille de liaison 130.
- [0036] Quelle que soit la configuration de la feuille de liaison 130 dans l'interface de liaison 135, la densification de la feuille de liaison 130 engendre la formation d'un matériau

céramique 150, comme cela est représenté dans le composant céramique unitaire 102 de la [Fig.4].

[0037] Dans un mode de réalisation, la feuille de liaison 130 peut comprendre des particules 141 (par exemple des particules céramiques, des particules métalliques ou un mélange de celles-ci), des fibres discontinues 142 (par exemple des fibres hachées, des barbes ou d'autres formes de fibres discontinues, qui peuvent être des fibres discontinues céramiques, des fibres discontinues métalliques ou un mélange de celles-ci) comme cela est représenté sur la [Fig.3]. Par exemple, des particules céramiques 141, des fibres discontinues 142 ou un mélange de celles-ci peuvent être employées dans la feuille de liaison 130 pour contribuer à la régulation du rétrécissement de la feuille de liaison 130 au cours de processus. De plus, les particules céramiques 141, les fibres discontinues 142 ou un mélange de celles-ci peuvent fournir des surfaces d'infiltration de fluide pour la croissance de carbure de silicium sur celles-ci, comme tel est le cas avec les fibres continues susmentionnées en ce qui concerne les feuilles tissées ou non tissées de la feuille de liaison 130. Des exemples de composés dans les particules céramiques 141, les fibres discontinues 142 ou un mélange de celles-ci peuvent comprendre SiC, C, B₄C, SiO₂, HfC, HfB₂, ZrC, ZrB₂, MoSi₂, Si₃N₄, Al₂O₃, des silicates de terres rares, des siliciures de terres rares ou des mélanges de ceux-ci.

[0038] La [Fig.5] représente un organigramme d'un procédé 500 de formation d'un composant céramique unitaire. A 502, le procédé comprend le positionnement d'une feuille de liaison entre un premier composant céramique et un deuxième composant céramique, comme cela a été susmentionné en référence aux figures 1 à 4. A 504, le procédé comprend en outre la densification de la feuille de liaison pour former un matériau céramique qui forme une interface de liaison entre le premier composant céramique et le deuxième composant céramique et la formation d'un composant céramique unitaire. Pendant la densification de la feuille de liaison, une composition d'infiltration peut s'écouler dans les vides et les canaux de la feuille de liaison pour réagir avec des matériaux à l'intérieur de ceux-ci pour former le matériau céramique. Par exemple, la composition d'infiltration peut comprendre une vapeur ou un matériau fondu tel qu'utilisé dans divers processus de densification décrits dans les présentes. Comme cela a été abordé, la feuille de liaison peut comprendre un précurseur de matrice comme un matériau organique ou inorganique qui laisse du charbon/un résidu après calcination, comme une pyrolyse ou une cuisson, ainsi que d'autres charges comme des particules céramiques ou des fibres céramiques.

[0039] Par exemple, la composition d'infiltration peut s'écouler d'un bord du composant céramique unitaire et dans la feuille de liaison par l'intermédiaire d'au moins l'un parmi un vide, un canal ou les deux, pour pénétrer dans la feuille de liaison et remplir les vides et/ou les canaux à l'intérieur de celle-ci. En tant que telle, la composition

d'infiltration peut densifier la feuille de liaison en remplissant les vides et/ou les canaux avec un matériau de formation de céramique pendant la densification. La densification de la feuille de liaison peut donc engendrer la formation d'une feuille de liaison densifiée comprise dans un matériau céramique qui forme une interface de liaison entre le premier composant céramique et le deuxième composant céramique. Dans un aspect, la composition d'infiltration peut comprendre du silicium, du carbone, du bore ou un mélange de ceux-ci (par exemple du carbure de silicium, une composition contenant du carbone, etc.).

- [0040] Des techniques et des paramètres de traitement spécifiques pour la densification peuvent dépendre de la composition particulière des matériaux. Dans des modes de réalisation exemplaires, la densification de la feuille de liaison comprend l'utilisation d'un processus d'infiltration chimique en phase vapeur dans lequel un matériau de matrice est infiltré dans la feuille de liaison par l'utilisation de gaz réactifs à une température élevée pour former la feuille de liaison densifiée.
- [0041] Des gaz réactifs peuvent par exemple comprendre, sans être limités à cela, des gaz hydrocarbures (par exemple du méthane, du propane, de l'acétylène, etc.), des gaz précurseurs contenant du carbone et du silicium (par exemple du méthyl-trichlorosilane, etc.), des gaz précurseurs de bore et de silicium contenant du chlore (par exemple du dichlorure de bore, du trichlorosilane, etc.), des gaz précurseurs contenant de l'azote (par exemple du gaz ammoniac), ou des mélanges de ceux-ci. Des gaz d'attaque, comme du HCl, peuvent également être présents pour modifier la surface de dépôt avant ou pendant tout stade du processus CVI. Dans un mode de réalisation, des métaux d'infiltration, comme du platine et/ou de l'aluminium, peuvent être introduits par l'intermédiaire, par exemple, de leurs complexes acétylacétonates respectifs ou par l'intermédiaire de leurs chlorures métalliques respectifs.
- [0042] D'autres procédés de densification en phase vapeur peuvent être utilisés, comme un dépôt de couche atomique (par exemple de matériaux comme Al_2O_3 et HfO_2) dans lequel, par exemple, des couches alternées d'un précurseur métallique (par exemple de l'aluminium méthyle) sont alternées avec une source d'oxygène (par exemple de l'oxygène, de l'eau, etc.) pour déposer un film infiltré couche par couche. Ce procédé peut être combiné avec d'autres procédés. Par exemple, un premier enduit peut être appliqué par l'intermédiaire d'un dépôt de couche atomique pour préparer (par exemple apprêter) les surfaces de liaison puis le reste du film de liaison peut être densifié.
- [0043] Dans un mode de réalisation, la feuille de liaison peut être densifiée en utilisant le processus d'infiltration chimique en phase vapeur tout seul ou en utilisant une combinaison d'une infiltration chimique en phase vapeur partielle suivie d'une infiltration par fusion ou une combinaison d'une infiltration de suspension suivie

d'une infiltration par fusion. Par exemple, une infiltration par fusion peut introduire du silicium (Si), un alliage de silicium ou un oxyde de silicium, comme des disilicates de terres rares ($\text{RE}_2\text{Si}_2\text{O}_7$), ou une infiltration de suspension peut être employée avant une infiltration par fusion. D'autres techniques de densification comprennent, sans être limitées à cela, des processus d'infiltration par fusion de silicium et des processus d'infiltration par fusion réactifs, des processus PIP (par exemple la structure poreuse de la feuille de liaison est infiltrée avec un polymère précéramique, comme du polysilazane, puis traitée à la chaleur pour former une matrice de SiC) et des processus oxyde/oxyde (par exemple des composants de matériaux de renforcement en aluminium ou en aluminosilicates), qui peuvent chacun être utilisés indépendamment ou en combinaison avec un ou plusieurs autres processus de densification.

[0044] Facultativement, le procédé 500 peut comprendre le préchauffage de la feuille de liaison à 503 afin de calciner au moins l'une ou les deux d'une pluralité de fibres sacrificielles et de particules sacrificielles en engendrant la formation de canaux, de vides ou des deux dans la feuille de liaison. Comme cela a été susmentionné, des particules de formation de pores et des fibres de formation de pores peuvent être employées dans la feuille de liaison pour définir une zone d'une partie de la feuille de liaison qui est fugitive lors d'un chauffage. Dans un aspect, le procédé comprend en outre le préchauffage de la feuille de liaison pour former une pluralité de vides et/ou de canaux dans la feuille de liaison.

[0045] Dans certains modes de réalisation, la structure de pores dans la couche de liaison avant l'étape d'infiltration CVI présente une distribution de formes. Par exemple, la structure de pores peut comprendre un ensemble de pores relativement fins combinés avec une série de pores en forme de fissures où l'axe long du pore est perpendiculaire au plan de la jonction. Dans des modes de réalisation particuliers, une fissure verticale peut s'étendre au centre de l'interface de liaison. Dans certains modes de réalisation, la largeur d'une telle fissure verticale peut être inférieure à l'épaisseur de jonction et de 20 à 400 fois inférieure à la longueur de la fissure dans le plan de la jonction.

[0046] Dans certains modes de réalisation, l'un ou les deux des deux composants céramiques qui sont joints avec la feuille de liaison peuvent être une céramique non densifiée avant la densification de la feuille de liaison qui peut être densifiée en même temps que la feuille de liaison.

[0047] Par conséquent, comme cela a été décrit dans les présentes, la présente invention propose des jonctions améliorées entre des substrats composites à matrice céramique et des procédés de formation de ceux-ci. Par exemple, des composants CMC de géométries complexes peuvent être difficiles à fabriquer dans des pièces monolithiques ou à un rendement acceptable. Un certain nombre de procédés de jonction de substrats CMC ont donc été élaborés pour produire des composants CMC en

volume, comme des procédés de jonction précéramique. Des procédés de jonction précéramique comprennent généralement l'application d'une suspension polymère d'organosilicium entre deux substrats CMC qui doivent être liés l'un à l'autre. Un processus de décomposition pyrolytique est ensuite réalisé sur la suspension polymère d'organosilicium, en la transformant en une préforme qui comprend un précurseur carbure de silicium et une pluralité de vides. La préforme peut ensuite être densifiée en utilisant des procédés comprenant une infiltration chimique en phase vapeur et une infiltration par fusion. Néanmoins, l'interface de liaison formée dans une jonction précéramique comprend une pluralité de vides avec des dimensions et un espacement de vides qu'il est généralement impossible de réguler précisément.

[0048] Réciproquement, les procédés et les jonctions de la présente divulgation permettent une jonction entre deux substrats céramiques présentant une qualité améliorée. Spécifiquement, les caractéristiques des vides dans la feuille de liaison de la présente divulgation, qui servent de trajets de fluide pendant une densification, peuvent être régulées précisément. Dans un aspect exemplaire, les caractéristiques des vides dans la feuille de liaison sont régulées précisément le long de la longueur et de la profondeur de la feuille de liaison. Il est ainsi possible de minimiser ou d'empêcher entièrement l'étranglement des trajets d'infiltration et l'obstruction de la densification des parties intérieures de la préforme. La densification de la jonction et sa qualité résultante peuvent ainsi être améliorées grâce au fait que la feuille de liaison de la présente divulgation permet un support plus uniforme et prévisible pour l'infiltration de fluide. Qui plus est, la feuille de liaison de la présente divulgation permet une régulation améliorée de l'épaisseur de ligne de liaison.

[0049] Dans la présente invention, les clauses suivantes prévoient des aspects supplémentaires.

[0050] Un procédé comprend le positionnement d'une feuille de liaison entre un premier composant céramique et un deuxième composant céramique, dans lequel la feuille de liaison définit une pluralité de vides ; et la densification de la feuille de liaison avec une composition d'infiltration à une température de densification pour former une interface de liaison comprenant un matériau céramique qui forme une interface de liaison entre le premier composant céramique et le deuxième composant céramique dans un composant céramique unitaire.

[0051] Dans un procédé selon la clause précédente, le premier composant céramique est un premier composant céramique densifié avant le positionnement de la feuille de liaison dans l'interface de liaison et le deuxième composant céramique est un deuxième composant céramique densifié avant le positionnement de la feuille de liaison dans l'interface de liaison.

- [0052] Dans un procédé selon l'une quelconque des clauses précédentes, la composition d'infiltration comprend du silicium, du carbone, du bore ou un mélange de ceux-ci.
- [0053] Dans un procédé selon l'une quelconque des clauses précédentes, la feuille de liaison est positionnée entre une interface de liaison complète définie entre le premier composant céramique et le deuxième composant céramique.
- [0054] Dans un procédé selon l'une quelconque des clauses précédentes, la densification de la feuille de liaison comprend la réalisation d'une infiltration chimique en phase vapeur sur la feuille de liaison avec la composition d'infiltration.
- [0055] Dans un procédé selon l'une quelconque des clauses précédentes, la feuille de liaison comprend un tissu.
- [0056] Dans un procédé selon l'une quelconque des clauses précédentes, la feuille de liaison comprend un tissu comportant une pluralité de fibres et la pluralité de fibres comprend du carbone, du carbure de silicium ou un mélange de ceux-ci.
- [0057] Dans un procédé selon l'une quelconque des clauses précédentes, la pluralité de fibres comprend au moins une fibre sacrificielle et au moins une fibre céramique.
- [0058] Dans un procédé selon l'une quelconque des clauses précédentes, l'au moins une fibre sacrificielle est dissipée avant ou pendant la densification de la feuille de liaison pour définir des canaux de fluide à l'intérieur de la feuille de liaison.
- [0059] Dans un procédé selon l'une quelconque des clauses précédentes, l'au moins une fibre céramique reste à l'intérieur du matériau céramique.
- [0060] Dans un procédé selon l'une quelconque des clauses précédentes, le tissu comprend un tissu tissé de la pluralité de fibres avec une porosité définie entre la pluralité de fibres définissant la pluralité de vides.
- [0061] Dans un procédé selon l'une quelconque des clauses précédentes, la feuille de liaison comprend un tissu non tissé de la pluralité de fibres avec une porosité définie entre la pluralité de fibres définissant la pluralité de vides.
- [0062] Dans un procédé selon l'une quelconque des clauses précédentes, la feuille de liaison comprend un feutre céramique.
- [0063] Dans un procédé selon l'une quelconque des clauses précédentes, la feuille de liaison comprend un film polymère à l'intérieur duquel la pluralité de vides est définie.
- [0064] Dans un procédé selon l'une quelconque des clauses précédentes, la feuille de liaison comprend des particules céramiques, des fibres discontinues ou un mélange de celles-ci.
- [0065] Dans un procédé selon l'une quelconque des clauses précédentes, le positionnement d'une feuille de liaison comprend le positionnement d'une pluralité de feuilles de liaison entre le premier composant céramique et le deuxième composant céramique.
- [0066] Le composant céramique unitaire est formé conformément à un procédé selon l'une quelconque des clauses précédentes.

- [0067] Un composant céramique unitaire comprend un premier composant céramique densifié ; un deuxième composant céramique densifié ; et un matériau céramique liant le premier composant céramique densifié au deuxième composant céramique densifié, le matériau céramique comprenant une feuille de liaison densifiée.
- [0068] Dans un composant céramique selon l'une quelconque des clauses précédentes, la feuille de liaison densifiée comprend un tissu tissé ou un tissu non tissé.
- [0069] Dans un composant céramique selon l'une quelconque des clauses précédentes, le tissu non tissé comprend un feutre céramique.
- [0070] Dans un composant céramique selon l'une quelconque des clauses précédentes, la feuille de liaison densifiée comprend des particules céramiques, des fibres discontinues ou une combinaison de celles-ci.
- [0071] Dans un composant céramique selon l'une quelconque des clauses précédentes, le matériau céramique comprend une composition d'infiltration comprenant du silicium, une espèce contenant du silicium et du bore, un composé d'alliage de silicium et de bore ou un mélange de ceux-ci.
- [0072] La présente description utilise des exemples pour décrire la divulgation, y compris le meilleur mode de réalisation, ainsi que pour permettre à l'homme du métier de mettre la divulgation en pratique, notamment en fabriquant et en utilisant des dispositifs ou des systèmes et en réalisant des procédés incorporés.

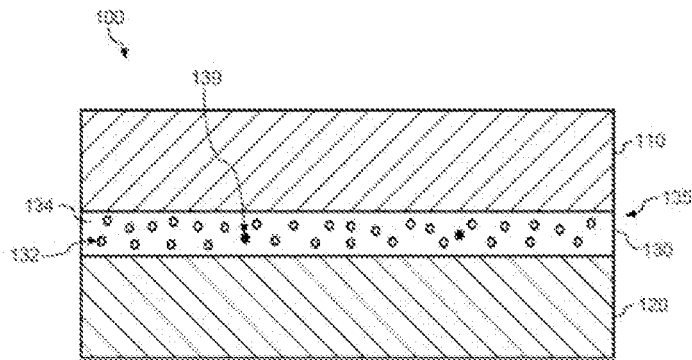
Revendications

- [Revendication 1] Procédé comprenant :
- le positionnement d'une feuille de liaison (130) entre un premier composant céramique (110) et un deuxième composant céramique (120), dans lequel la feuille de liaison définit une pluralité de vides (132) ; et
- la densification de la feuille de liaison avec une composition d'infiltration à une température de densification pour former une interface de liaison (135) comprenant un matériau céramique qui forme une interface de liaison entre le premier composant céramique et le deuxième composant céramique dans un composant céramique unitaire (102).
- [Revendication 2] Procédé selon la revendication 1, dans lequel le premier composant céramique (110) est un premier composant céramique densifié avant le positionnement de la feuille de liaison (130) dans l'interface de liaison, et dans lequel le deuxième composant céramique (120) est un deuxième composant céramique densifié avant le positionnement de la feuille de liaison (130) dans l'interface de liaison.
- [Revendication 3] Procédé selon la revendication 1, dans lequel la composition d'infiltration comprend du silicium, du carbone, du bore ou un mélange de ceux-ci.
- [Revendication 4] Procédé selon la revendication 1, dans lequel la feuille de liaison (130) est positionnée entre une interface de liaison complète définie entre le premier composant céramique (110) et le deuxième composant céramique (120).
- [Revendication 5] Procédé selon la revendication 1, dans lequel la densification de la feuille de liaison (130) comprend la réalisation d'une infiltration chimique en phase vapeur sur la feuille de liaison avec la composition d'infiltration.
- [Revendication 6] Procédé selon la revendication 1, dans lequel la feuille de liaison (130) comprend un tissu.
- [Revendication 7] Procédé selon la revendication 1, dans lequel la feuille de liaison (130) comprend un tissu comportant une pluralité de fibres, et dans lequel la pluralité de fibres comprend du carbone, du carbure de silicium ou un mélange de ceux-ci.

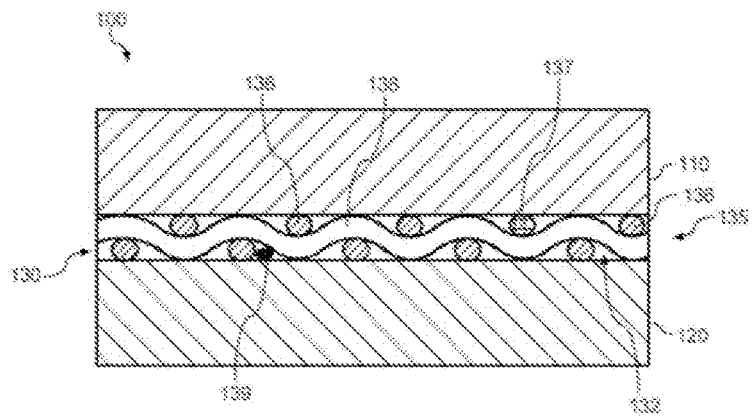
- [Revendication 8] Procédé selon la revendication 7, dans lequel la pluralité de fibres comprend au moins une fibre sacrificielle (137) et au moins une fibre céramique.
- [Revendication 9] Procédé selon la revendication 8, dans lequel l'au moins une fibre sacrificielle (137) est dissipée avant ou pendant la densification de la feuille de liaison pour définir des canaux (140) de fluide à l'intérieur de la feuille de liaison.
- [Revendication 10] Procédé selon la revendication 8, dans lequel l'au moins une fibre céramique reste à l'intérieur du matériau céramique.
- [Revendication 11] Procédé selon la revendication 7, dans lequel le tissu comprend un tissu tissé de la pluralité de fibres avec une porosité définie entre la pluralité de fibres définissant la pluralité de vides.
- [Revendication 12] Procédé selon la revendication 1, dans lequel la feuille de liaison (130) comprend un tissu non tissé de la pluralité de fibres avec une porosité définie entre la pluralité de fibres définissant la pluralité de vides (132).
- [Revendication 13] Procédé selon la revendication 1, dans lequel la feuille de liaison (130) comprend un feutre céramique.
- [Revendication 14] Procédé selon la revendication 1, dans lequel la feuille de liaison (130) comprend un film polymère à l'intérieur duquel la pluralité de vides (132) est définie.
- [Revendication 15] Procédé selon la revendication 1, dans lequel la feuille de liaison (130) comprend des particules céramiques (141), des fibres discontinues (142) ou un mélange de celles-ci.
- [Revendication 16] Procédé selon la revendication 1, dans lequel le positionnement d'une feuille de liaison (130) comprend le positionnement d'une pluralité de feuilles de liaison entre le premier composant céramique et le deuxième composant céramique.
- [Revendication 17] Composant céramique unitaire (102) comprenant :
un premier composant céramique densifié ;
un deuxième composant céramique densifié ; et
un matériau céramique liant le premier composant céramique densifié au deuxième composant céramique densifié, dans lequel le matériau céramique comprend une feuille de liaison densifiée.
- [Revendication 18] Composant céramique selon la revendication 17, dans lequel la feuille de liaison densifiée comprend un tissu tissé ou un tissu non tissé.

- [Revendication 19] Composant céramique selon la revendication 17, dans lequel la feuille de liaison densifiée comprend des particules céramiques (141), des fibres discontinues (142) ou une combinaison de celles-ci.
- [Revendication 20] Composant céramique selon la revendication 17, dans lequel le matériau céramique comprend une composition d'infiltration comprenant du silicium, une espèce contenant du silicium et du bore, un composé d'alliage de silicium et de bore ou un mélange de ceux-ci.

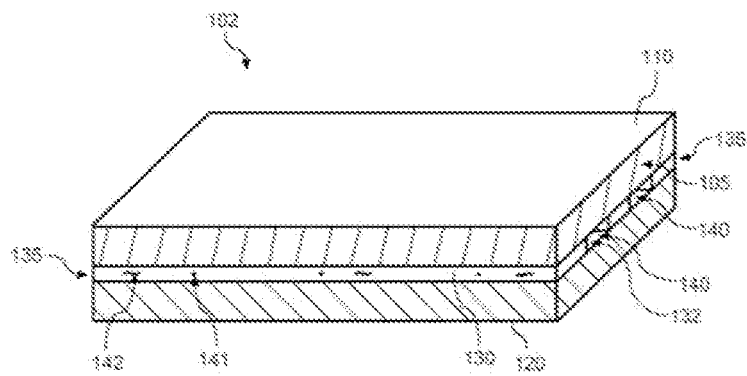
[Fig. 1]



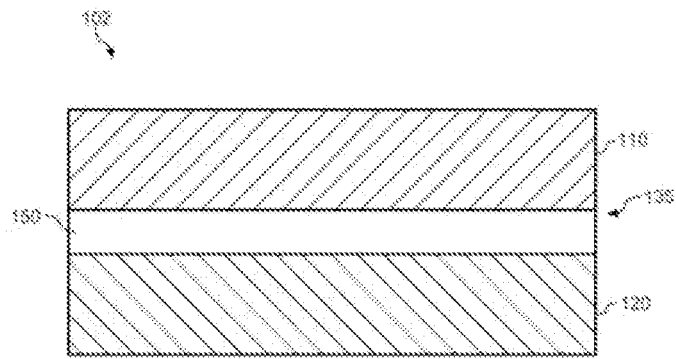
[Fig. 2]



[Fig. 3]



[Fig. 4]



[Fig. 5]

