



CONFÉDÉRATION SUISSE
INSTITUT FÉDÉRAL DE LA PROPRIÉTÉ INTELLECTUELLE

(11) **CH** **720 093 B1**

Brevet d'invention délivré pour la Suisse et le Liechtenstein

Traité sur les brevets, du 22 décembre 1978, entre la Suisse et le Liechtenstein

(51) Int. Cl.: **F27B 17/00** (2006.01)
C04B 35/64 (2006.01)
H05B 3/00 (2006.01)
B22F 3/10 (2006.01)

(12) **FASCICULE DU BREVET**

(21) Numéro de la demande: 001167/2022

(22) Date de dépôt: 06.10.2022

(43) Demande publiée: 15.04.2024

(24) Brevet délivré: 13.06.2025

(45) Fascicule du brevet publié: 13.06.2025

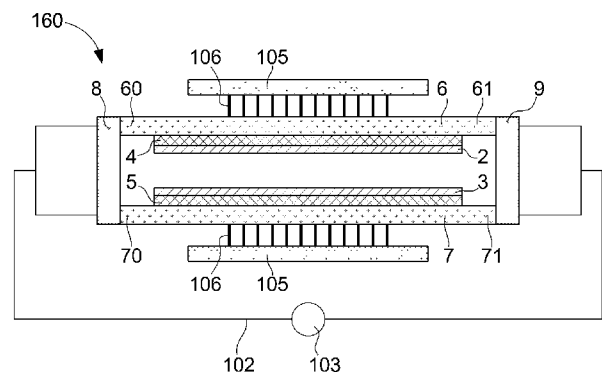
(73) Titulaire(s):
Belenos Clean Power Holding AG, Seevorstadt 6
2502 Biel/Bienne (CH)

(72) Inventeur(s):
Reto Pfenninger, 4612 Wangen bei Olten (CH)
Kostiantyn Kravchuk, 8052 Zürich (CH)
Maksym Kovalenko, 8050 Zürich (CH)
Romain Jean-Christophe Dubey, 8600 Dübendorf (CH)
Daniele Perego, 5400 Baden (CH)
Olivia De Los Cobos, 90500 Beaucourt (FR)
Werner Scheifele, 4310 Rheinfelden (CH)

(74) Mandataire:
ICB Ingénieurs Conseils en Brevets SA,
Faubourg de l'Hôpital 3
2001 Neuchâtel (CH)

(54) **Appareil de frittage ultrarapide à haute température**

(57) La présente invention concerne un appareil de frittage (160) comprenant un premier (2) et un deuxième substrat thermoconducteur (3) comprenant du carbone, agencés à une distance l'un de l'autre, pour ainsi fournir un espace pour recevoir un substrat à fritter, et fournis entre un troisième (4) et un quatrième substrat thermoconducteur (5); et des moyens de chauffage (102) pour chauffer le troisième substrat thermoconducteur (4) et/ou le quatrième substrat thermoconducteur (5) à une vitesse de chauffage d'au moins 50 °C/s jusqu'à une température entre 750 °C et 1400 °C, pour ainsi chauffer le premier substrat thermoconducteur (2) et/ou le deuxième substrat thermoconducteur (3), respectivement. Les troisième (4) et quatrième substrats thermoconducteurs (5) comprennent, indépendamment l'un de l'autre, un ou plusieurs nitrures métalliques et/ou oxydes métalliques.



Description

Domaine technique de l'invention

[0001] La présente invention concerne un appareil de frittage, en particulier un appareil de frittage ultrarapide à haute température.

Contexte de l'invention

[0002] Les procédés de frittage traditionnels ont généralement lieu dans des fours dits de masse, où ils sont chauffés aux températures de frittage requises, qui dépendent de la composition de matériau à fritter. Les inconvénients de ces fours de masse comprennent des temps longs de chauffage et de refroidissement (c'est-à-dire, une vitesse lente de chauffage et une vitesse lente de refroidissement), une régulation difficile de la température et de la répartition de la chaleur (c'est-à-dire, l'uniformité de la température), une consommation d'énergie élevée (due aux longs temps de chauffage) et un temps de traitement total accru. Cela aboutit à un frittage non uniforme et, par conséquent, à une qualité de frittage limitée. Cela aboutit également à un débit plus faible (moins d'objets frittés produits dans un certain laps de temps), rendant ces techniques de frittage moins adaptées à une application à l'échelle industrielle.

[0003] Plus récemment, de nouveaux procédés de frittage et des appareils de frittage améliorés ont été développés, notamment le frittage assisté par micro-ondes, le frittage plasma par étincelle, et le frittage flash. Cependant, le frittage assisté par micro-ondes dépend largement des propriétés d'absorption des micro-ondes du matériau à fritter, ce qui en limite l'applicabilité. Les appareils de frittage plasma par étincelle nécessitent des matrices pour comprimer le matériau inorganique lors du frittage, ce qui limite la géométrie du composant à fritter, ainsi que l'évolutivité. En outre, il n'est pas approprié au frittage de structures tridimensionnelles complexes en raison de la pression appliquée. Les appareils de frittage flash sont capables de chauffer à une vitesse de chauffage allant jusqu'à 10 000 °C/min, mais nécessitent des électrodes en platine coûteuses. Les appareils de frittage flash sont également moins appropriés pour fritter des composants à géométrie complexe, tels que des structures tridimensionnelles.

[0004] Un autre appareil de frittage récemment développé est un appareil de frittage ultrarapide à haute température.

[0005] Le document WO 2020/236 767 divulgue un système et un procédé de frittage rapide à haute température. Un substrat à fritter est placé entre deux éléments thermoconducteurs en carbone, avec une distance de 0 à 10 mm entre chaque élément thermoconducteur en carbone et le substrat. Les éléments thermoconducteurs en carbone sont chauffés par un courant électrique à une température située entre 500 °C et 3000 °C, et le frittage est effectué en 1 seconde à 1 heure en chauffant le substrat avec les éléments thermoconducteurs en carbone chauffés.

[0006] Un inconvénient des appareils de frittage ultrarapide à haute température susmentionnés est que des substrats autoportants, c'est-à-dire sans qu'un support ne soit présent, sont difficiles à fritter. En particulier dans le cas des substrats plats autoportants, il est difficile de maintenir la planéité du substrat pendant le frittage avec les appareils susmentionnés. En d'autres termes, les substrats frittés obtenus au moyen des appareils susmentionnés, lorsqu'ils sont frittés sans qu'un support ne soit présent, ont tendance à se plier, à présenter des courbes et même à présenter des fissures, ou peuvent commencer à se fissurer après le frittage lors d'une tentative d'aplanissement du substrat fritté.

Résumé de l'invention

[0007] La présente invention vise à pallier un ou plusieurs des inconvénients ci-dessus. Un objet de l'invention est de fournir un appareil de frittage permettant de réduire les temps de frittage et/ou d'améliorer le contrôle des conditions de frittage, en particulier la température de frittage. Un objet supplémentaire est de fournir un appareil de frittage permettant un frittage plus uniforme. Un objet supplémentaire est de fournir un appareil de frittage qui est capable de fritter des substrats minces, c'est-à-dire ayant une épaisseur inférieure à 100 µm, et/ou des substrats plats, sans endommager ou déformer les substrats frittés, c'est-à-dire en conservant ainsi la planéité. Un objet supplémentaire est de fournir un appareil de frittage dont la consommation d'énergie est réduite.

[0008] Selon un aspect de l'invention, il est divulgué un appareil de frittage selon les revendications annexées.

[0009] Un appareil de frittage selon la présente divulgation comprend un premier substrat thermoconducteur et un deuxième substrat thermoconducteur agencés à une distance l'un de l'autre, pour ainsi fournir un espace pour recevoir un substrat à fritter.

[0010] Les premier et deuxième substrats thermoconducteurs sont fournis entre un troisième substrat thermoconducteur et un quatrième substrat thermoconducteur. En d'autres termes, les troisième et quatrième substrats thermoconducteurs sont fournis au niveau de la surface externe des premier et deuxième substrats thermoconducteurs, respectivement.

[0011] Les premier et deuxième substrats thermoconducteurs comprennent du carbone.

[0012] Le troisième substrat thermoconducteur et le quatrième substrat thermoconducteur comprennent, indépendamment l'un de l'autre, un ou plusieurs nitrures métalliques et/ou oxydes métalliques. Avantagusement, les troisième et quatrième substrats thermoconducteurs comprennent, indépendamment l'un de l'autre, un ou plusieurs nitrures métalliques monocristallins et/ou oxydes métalliques monocristallins.

[0013] Avantageusement, le nitrure métallique (monocristallin) comprend un nitrure de bore (monocristallin) et/ou un nitrure d'aluminium (monocristallin). Avantageusement, l'oxyde métallique (monocristallin) comprend une alumine (monocristalline) et/ou un saphir (monocristallin), tel que des monocristaux de saphir.

[0014] Avantageusement, le premier substrat thermoconducteur est en contact au moins partiellement avec le troisième substrat thermoconducteur. En variante ou en plus, et avantageusement, le deuxième substrat thermoconducteur est en contact au moins partiellement avec le quatrième substrat thermoconducteur. Par „en contact au moins partiellement“, on entend dans la présente invention que les deux substrats entrent en contact, c'est-à-dire entrent en contact l'un avec l'autre, sur au moins une partie des surfaces respectives des substrats se faisant face.

[0015] L'appareil de frittage comprend en outre des moyens de chauffage pour chauffer le troisième substrat thermoconducteur et/ou le quatrième substrat thermoconducteur. Le troisième substrat thermoconducteur et/ou le quatrième substrat thermoconducteur sont chauffés à une vitesse de chauffage d'au moins 50 °C/s. Le troisième substrat thermoconducteur et/ou le quatrième substrat thermoconducteur sont chauffés à une température entre 750 °C et 1400 °C, de préférence entre 900 °C et 1250 °C. Les moyens de chauffage sont agencés de telle façon que, lors d'un chauffage, le troisième substrat thermoconducteur et/ou le quatrième substrat thermoconducteur, le premier substrat thermoconducteur et/ou le deuxième substrat thermoconducteur, respectivement, sont chauffés.

[0016] Avantageusement, l'appareil de frittage comprend en outre un premier conducteur au niveau d'une surface externe du troisième substrat thermoconducteur. En variante ou en plus, et avantageusement, l'appareil de frittage comprend en outre un deuxième conducteur au niveau d'une surface externe du quatrième substrat thermoconducteur.

[0017] Avantageusement, quand un premier et un deuxième conducteur sont fournis, le premier et le deuxième conducteur entourent ensemble au moins partiellement, et de préférence entièrement, les premier, deuxième, troisième et quatrième substrats thermoconducteurs, et l'espace (c'est-à-dire, l'espace entre les premier et deuxième substrats thermoconducteurs).

[0018] Avantageusement, le premier conducteur et le deuxième conducteur comprennent du carbone. Des exemples de conducteurs comprenant du carbone comprennent, sans s'y limiter, un graphite, des fibres de carbone, des nanotubes de carbone, ou des combinaisons de deux ou plus de ceux-ci. Le premier conducteur et le deuxième conducteur peuvent avoir la même composition ou une composition différente.

[0019] Avantageusement, l'appareil de frittage comprend en outre un premier moyen de support fourni au niveau d'une surface externe du premier conducteur. En variante ou en plus, et avantageusement, l'appareil de frittage comprend en outre un second moyen de support fourni au niveau d'une surface externe du deuxième conducteur. Avantageusement, chacun parmi le premier moyen de support et le second moyen de support, quand ils sont fournis, comprend indépendamment un substrat céramique thermiquement et électriquement isolant et au moins un composant métallique de support. Avantageusement, le moyen de support est agencé pour que le composant métallique de support soit en contact avec le substrat céramique thermiquement et électriquement isolant et le conducteur. En d'autres termes, quand un premier, respectivement un second, moyen de support est fourni, il est agencé de telle sorte que le composant métallique de support de celui-ci entre en contact avec son substrat céramique thermiquement et électriquement isolant et la surface du premier, respectivement du deuxième, conducteur faisant face au moyen de support (c'est-à-dire la surface externe du conducteur respectif). Avantageusement, le moyen de support est agencé de telle sorte que le ou les composants métalliques de support et le substrat céramique thermiquement et électriquement isolant supportent mécaniquement le conducteur.

[0020] Avantageusement, le substrat céramique thermiquement et électriquement isolant comprend une alumine (c'est-à-dire, un oxyde d'aluminium).

[0021] Avantageusement, le composant métallique de support comprend du tungstène ou un alliage de celui-ci. Des exemples non limitatifs d'alliages comprenant du tungstène sont les alliages de tungstène-nickel-fer, les alliages de tungstène-nickel-cuivre et les alliages de carbure de tungstène.

[0022] Avantageusement, quand l'appareil de frittage comprend un premier conducteur et/ou un deuxième conducteur, les moyens de chauffage comprennent des moyens pour induire un courant électrique dans le premier conducteur et/ou le deuxième conducteur. Avantageusement, en utilisation, quand un courant électrique est induit dans le premier conducteur et/ou le deuxième conducteur, le troisième substrat thermoconducteur et/ou le quatrième substrat thermoconducteur sont chauffés, avantageusement au moyen d'un chauffage par effet Joule. Le chauffage par effet Joule est également appelé chauffage résistif ou chauffage ohmique. Avantageusement, lors de l'induction d'un courant électrique (lors de l'utilisation de l'appareil) dans le premier conducteur et/ou le deuxième conducteur, toutes pertes ohmiques ou pertes résistives dans le premier conducteur et/ou le deuxième conducteur se dissipent sous forme de chaleur, ce qui chauffe le troisième substrat thermoconducteur et/ou le quatrième substrat thermoconducteur.

[0023] Avantageusement, l'appareil de frittage comprend en outre, en plus du premier conducteur et/ou du deuxième conducteur, un troisième conducteur et un quatrième conducteur. Avantageusement, le troisième conducteur est fourni à une extrémité proximale du premier conducteur et/ou à une extrémité proximale du deuxième conducteur. En outre, un quatrième conducteur est fourni à une extrémité distale du premier conducteur et/ou à une extrémité distale du deuxième conducteur.

[0024] Par exemple, quand l'appareil de frittage comprend uniquement un premier (ou deuxième) conducteur, le troisième conducteur est fourni à une extrémité proximale du premier (ou deuxième) conducteur, et le quatrième conducteur est fourni à une extrémité distale du premier (ou deuxième) conducteur. Par exemple, quand l'appareil de frittage comprend un premier et un deuxième conducteur, le troisième conducteur est fourni à une extrémité proximale du premier conducteur et à une extrémité proximale du deuxième conducteur, et le quatrième conducteur est fourni à une extrémité distale du premier conducteur et à une extrémité distale du deuxième conducteur.

[0025] Avantageusement, quand l'appareil de frittage comprend un troisième et un quatrième conducteur, fournis comme expliqué précédemment, les moyens de chauffage comprennent des moyens pour induire un courant électrique dans le troisième et le quatrième conducteur. Avantageusement, en utilisation, quand un courant électrique est induit dans le troisième et le quatrième conducteur, le courant électrique est induit dans le premier conducteur et/ou le deuxième conducteur, et le troisième substrat thermoconducteur et/ou le quatrième substrat thermoconducteur sont chauffés.

[0026] Avantageusement, les troisième et quatrième conducteurs comprennent, indépendamment, du cuivre, des alliages de cuivre, de l'argent, des alliages d'argent, du tungstène, des alliages de tungstène, ou une combinaison de deux ou plus de ceux-ci.

[0027] En variante ou en plus des moyens de chauffage comprenant des moyens pour induire un courant électrique, et avantageusement, le moyen de chauffage comprend une source de lumière infrarouge (IR).

[0028] Avantageusement, quand le moyen de chauffage comprend une source lumineuse IR, l'appareil de frittage comprend en outre une ou plusieurs lentilles. Avantageusement, les lentilles sont agencées pour permettre, en utilisation, la focalisation du faisceau de lumière IR vers le troisième substrat conducteur et/ou le quatrième substrat conducteur.

[0029] Les moyens de chauffage peuvent être agencés pour permettre le chauffage du troisième substrat thermoconducteur et du quatrième substrat thermoconducteur indépendamment l'un de l'autre. Par exemple, les moyens de chauffage peuvent être agencés, en utilisation, pour chauffer les troisième et quatrième substrats thermoconducteurs selon le même profil de chauffage, comme à la même vitesse de chauffage et/ou à la même température. En variante, les moyens de chauffage peuvent être agencés, en utilisation, pour chauffer les troisième et quatrième substrats thermoconducteurs, par exemple, à une autre température et/ou à une vitesse de chauffage différente.

[0030] Avantageusement, l'appareil de frittage comprend en outre un moyen de surveillance de la température. Avantageusement, l'appareil de frittage comprend en outre un moyen pour surveiller la température de l'espace entre le premier et le second substrat thermoconducteur. En variante ou en plus, et avantageusement, l'appareil de frittage comprend en outre un moyen pour surveiller la température du troisième substrat thermoconducteur et/ou du quatrième substrat thermoconducteur. Avantageusement, le moyen de surveillance de la température comprend une caméra infrarouge (IR).

[0031] Un avantage des appareils de frittage de la présente invention est qu'un chauffage à des vitesses de chauffage élevées d'au moins 50 °C/s peut être obtenu. D'autres avantages des appareils de frittage de la présente invention sont, sans s'y limiter, qu'une grande variété de substrats peuvent être frittés en peu de temps et d'une manière uniforme. Les appareils de frittage de la présente invention sont particulièrement appropriés pour fritter des substrats minces et/ou sensiblement plats, ainsi que de substrats autoportants.

Description des figures

[0032] Des aspects de l'invention vont maintenant être décrits plus en détail en se référant aux dessins annexés, sur lesquels des numéros de référence identiques illustrent des éléments identiques et dans lesquels :

- les figures 1 à 11 représentent schématiquement divers appareils de frittage selon l'invention ;
- les figures 12A et 12B présentent des images prises au microscope électronique à balayage (MEB) à différentes résolutions de la section transversale d'un substrat inorganique fritté au moyen d'un appareil de la technique antérieure ;
- les figures 13A et 13B présentent des images prises au MEB à différentes résolutions de la section transversale d'un substrat inorganique fritté au moyen d'un appareil de frittage de la présente invention.

Description détaillée de l'invention

[0033] La figure 1 représente schématiquement un appareil de frittage 100 selon un premier mode de réalisation de la présente divulgation. L'appareil de frittage 100 présente un agencement sensiblement horizontal. L'appareil 100 comprend un premier substrat thermoconducteur 2 et un deuxième substrat thermoconducteur 3, fournis à une distance l'un de l'autre pour qu'un espace 101 soit fourni. Lors de l'utilisation de l'appareil, un objet à fritter, par exemple un substrat inorganique, est placé avantageusement dans l'espace 101, c'est-à-dire entre le premier substrat thermoconducteur 2 et le deuxième substrat thermoconducteur 3.

[0034] Le premier substrat thermoconducteur 2 et le deuxième substrat thermoconducteur 3 sont fournis entre un troisième substrat thermoconducteur 4 et un quatrième substrat thermoconducteur 5. En d'autres termes, le troisième substrat thermoconducteur 4 et le quatrième substrat thermoconducteur 5 entourent ou encerclent le premier substrat thermoconducteur 2 et le deuxième substrat thermoconducteur 3.

[0035] Avantageusement, le premier substrat thermoconducteur 2 et le deuxième substrat thermoconducteur 3, indépendamment l'un de l'autre, comprennent ou consistent essentiellement en du carbone. Des exemples de substrats thermoconducteurs comprenant du carbone comprennent, sans s'y limiter, un graphite, des fibres de carbone, des nanotubes de carbone, ou des combinaisons de deux ou plus de ceux-ci. Le premier substrat thermoconducteur 2 et le deuxième substrat thermoconducteur 3 peuvent avoir la même composition ou une composition différente. Le premier substrat thermoconducteur 2 et le deuxième substrat thermoconducteur 3 peuvent être, indépendamment l'un de l'autre, sensiblement plats. En variante, et indépendamment l'un de l'autre, ils peuvent avoir une géométrie suivant la géométrie de l'objet à fritter. Avantageusement, le premier substrat thermoconducteur 2 et le deuxième substrat thermoconducteur 3 présentent, indépendamment l'un de l'autre, une épaisseur entre 0,5 µm et 20 mm, de préférence entre 1 µm et 10 mm.

[0036] Le troisième substrat thermoconducteur 4 et le quatrième substrat thermoconducteur 5 peuvent avoir la même composition ou une composition différente. Avantageusement, le troisième substrat thermoconducteur 4 et le quatrième substrat thermoconducteur 5 comprennent ou consistent essentiellement en des nitrures métalliques ou des oxydes métalliques. Des exemples non limitatifs de nitrures métalliques comprennent un nitrure de bore ou un nitrure d'aluminium. Des exemples non limitatifs d'oxydes métalliques comprennent un oxyde d'aluminium ou un saphir, tel qu'un saphir monocristallin. Avantageusement, les nitrures métalliques comprennent ou consistent essentiellement en des nitrures métalliques monocristallins. Avantageusement, les oxydes métalliques comprennent ou consistent essentiellement en des oxydes métalliques monocristallins. Les inventeurs ont découvert que les nitrures métalliques monocristallins et les oxydes métalliques monocristallins sont capables de mieux résister, c'est-à-dire qu'ils ne présentent pas de dommages ou de détériorations significatifs, aux vitesses élevées de chauffage (c'est-à-dire au moins 50 °C/s) et aux vitesses élevées de refroidissement (c'est-à-dire au moins -50 °C/s) qui sont réalisées par l'appareil de frittage de la présente divulgation, par rapport aux nitrures métalliques et oxydes métalliques non monocristallins.

[0037] Avantageusement, au moins une partie, et de préférence la totalité, de la surface ou des surfaces du troisième substrat thermoconducteur 4 et/ou du quatrième substrat thermoconducteur 5 est polie.

[0038] Le troisième substrat thermoconducteur 4 et le quatrième substrat thermoconducteur 5 peuvent être, indépendamment l'un de l'autre, sensiblement plats. En variante, et indépendamment l'un de l'autre, ils peuvent avoir une géométrie suivant, c'est-à-dire correspondant à, la géométrie de l'objet à fritter. Avantageusement, le troisième substrat thermoconducteur 4 et le quatrième substrat thermoconducteur 5 présentent, indépendamment l'un de l'autre, une épaisseur entre 0,5 µm et 20 mm, de préférence entre 1 µm et 10 mm.

[0039] Les inventeurs ont découvert de manière inattendue qu'en utilisant un troisième substrat thermoconducteur 4 et un quatrième substrat thermoconducteur 5 comme expliqué ci-dessus, il est possible de fritter des substrats tout en conservant leur forme ou géométrie d'origine. En particulier, les appareils de frittage de la présente invention permettent de fritter des substrats plats, même lorsqu'ils sont minces (c'est-à-dire ayant une épaisseur de 100 µm ou moins), en maintenant ainsi leur planéité lors du frittage. En d'autres termes, lors du frittage de substrats plats avec les appareils de frittage de la présente divulgation, la courbure du substrat est évitée.

[0040] En outre, un support suffisant est fourni aux substrats à fritter, excluant le besoin de moyens de support, tels qu'un plateau, pour l'objet pendant le frittage. Par conséquent, les appareils de frittage de la présente invention permettent le frittage de substrats autoportants, tels que des membranes minces autoportantes.

[0041] Les inventeurs ont découvert de manière inattendue qu'en utilisant un premier substrat thermoconducteur 2 et un deuxième substrat thermoconducteur 3 comprenant du carbone et fournis, lors de l'utilisation de l'appareil, entre le substrat à fritter et le troisième substrat thermoconducteur 4 et le quatrième substrat thermoconducteur 5, n'importe quelle réaction à l'état solide qui pourrait avoir lieu entre l'objet à fritter et le troisième substrat thermoconducteur 4 et le quatrième substrat thermoconducteur 5 peut être évitée. De telles réactions à l'état solide influencent généralement négativement la qualité du frittage et sont donc des réactions indésirables. Par conséquent, les appareils de frittage selon la présente invention permettent d'éviter de telles réactions, en améliorant ainsi la qualité du frittage.

[0042] L'appareil de frittage 100 de la figure 1 comprend en outre un premier conducteur 6 et un deuxième conducteur 7. Avantageusement, le premier conducteur 6 et le deuxième conducteur 7 présentent une surface supérieure ou égale à la surface du troisième substrat thermoconducteur 4 et du quatrième substrat thermoconducteur 5, respectivement.

[0043] Avantageusement, le premier conducteur 6 et le deuxième conducteur 7, individuellement, comprennent ou consistent essentiellement en du carbone. Des exemples de conducteurs comprenant du carbone comprennent, sans s'y limiter, un graphite, des fibres de carbone, des nanotubes de carbone, ou des combinaisons de deux ou plus de ceux-ci. Avantageusement, le premier conducteur 6 et le deuxième conducteur 7 comprennent ou consistent essentiellement en un matériau non tissé en carbone, tel qu'un feutre en carbone.

[0044] L'appareil de frittage 100 comprend en outre des moyens de chauffage 102. Les moyens de chauffage sont connectés au premier conducteur 6 et au deuxième conducteur 7. La connexion peut être n'importe quelle connexion électrique

connue dans la technique et, en utilisation, transférera le courant électrique depuis les moyens de chauffage 102 vers le premier conducteur 6 et le deuxième conducteur 7, c'est-à-dire induira le courant électrique dans les conducteurs 6, 7. Une source d'énergie 103 est fournie pour générer le courant électrique. La source d'énergie 103 peut être une source d'alimentation en courant continu (CC) ou une source d'alimentation en courant alternatif (CA).

[0045] En utilisation, quand un substrat à fritter est fourni dans l'espace 101 de l'appareil de frittage 100, la source d'énergie 103 génère un courant électrique, qui est induit au moyen des moyens de chauffage 102 dans le premier conducteur 6 et le deuxième conducteur 7. Le courant électrique circule à travers les conducteurs 6, 7, et toute perte due à la résistance du matériau des conducteurs 6, 7 est transformée en chaleur. Cette chaleur entraîne le chauffage du troisième substrat thermoconducteur 4 et du quatrième substrat thermoconducteur 5, ce qui entraîne à son tour le chauffage du premier substrat thermoconducteur 2 et du deuxième substrat thermoconducteur 3, et donc le chauffage du substrat à fritter.

[0046] L'appareil de frittage permet d'obtenir une vitesse de chauffage de 50 °C/s ou plus, comme au moins 60 °C/s, voire 70 °C/s ou plus.

[0047] Avantageusement, l'appareil de frittage 100 comprend en outre un moyen pour surveiller la température 104 à l'intérieur de l'appareil de frittage 100. Avantageusement, le moyen pour surveiller la température 104 comprend un capteur IR et/ou une caméra IR. Avantageusement, les moyens pour surveiller la température 104 permettent de mesurer la température et de réguler la température, de façon que la température reste à une valeur prédéfinie ou dans une plage prédéfinie.

[0048] Le moyen pour surveiller la température 104 peut être agencé de telle sorte qu'il surveille la température à l'intérieur de l'espace 101, c'est-à-dire de l'objet à fritter pendant le frittage. En variante ou en plus, le moyen 104 peut être agencé pour surveiller la température d'un ou de plusieurs parmi les premier 2, deuxième 3, troisième 4 ou quatrième 5 substrats thermoconducteurs.

[0049] Avantageusement, l'appareil de frittage comprend en outre des moyens de refroidissement (non représentés). Avantageusement, les moyens de refroidissement permettent de refroidir l'espace, c'est-à-dire l'objet fritté, à une vitesse de refroidissement d'au moins -50 °C/s.

[0050] Avantageusement, l'appareil de frittage est agencé dans une boîte à gants (non représentée) qui est, lors de l'utilisation, remplie d'un gaz inerte. En d'autres termes, l'appareil de frittage est avantageusement agencé pour réaliser un procédé de frittage dans une atmosphère inerte, telle qu'une atmosphère comprenant de l'argon, de l'azote ou de l'hélium.

[0051] Le troisième substrat thermoconducteur 4 peut être fourni à distance du premier substrat thermoconducteur 2 et/ou à une distance du premier conducteur 6. Avantageusement, chaque distance est individuellement entre 0,05 mm et 25 mm, comme entre 0,1 mm et 20 mm, entre 0,2 mm et 15 mm, ou entre 0,25 mm et 10 mm. En variante, le troisième substrat thermoconducteur 4 peut être au moins partiellement en contact avec, par exemple peut toucher au moins partiellement, le premier substrat thermoconducteur 2 et/ou peut être au moins partiellement en contact avec le premier conducteur 6.

[0052] Le quatrième substrat thermoconducteur 5 peut être fourni à une distance du deuxième substrat thermoconducteur 3 et/ou à une distance du deuxième conducteur 7. Avantageusement, chaque distance est individuellement entre 0,05 mm et 25 mm, comme entre 0,1 mm et 20 mm, entre 0,2 mm et 15 mm, ou entre 0,25 mm et 10 mm. En variante, le quatrième substrat thermoconducteur 5 peut être au moins partiellement en contact avec, par exemple peut toucher au moins partiellement, le deuxième conducteur substrat thermoconducteur 3 et/ou peut être au moins partiellement en contact avec le deuxième conducteur 7.

[0053] La figure 2 présente un appareil de frittage 110. Contrairement à l'appareil de frittage 100 de la figure 1, le troisième substrat thermoconducteur 4 est en contact avec le premier substrat thermoconducteur 2 et le premier conducteur 6 sur toute sa surface. En d'autres termes, le troisième substrat thermoconducteur 4 est pris en sandwich entre le premier substrat thermoconducteur 2 et le premier conducteur 6. En outre, le quatrième substrat thermoconducteur 5 est également en contact avec le deuxième substrat thermoconducteur 3 et le deuxième conducteur 7 sur toute sa surface.

[0054] Facultativement, le premier conducteur 6 entoure au moins partiellement le troisième substrat thermoconducteur 4 (non représenté). En variante, et encore facultativement, le premier conducteur 6 peut également entourer au moins partiellement le premier substrat thermoconducteur 2, l'espace 101, et même le deuxième substrat thermoconducteur 3 et le quatrième substrat thermoconducteur 5. De manière similaire et facultativement, le deuxième conducteur 7 entoure au moins partiellement le quatrième substrat thermoconducteur 5 (non représenté). De plus, et toujours facultativement, le deuxième conducteur 7 peut également entourer au moins partiellement le deuxième substrat thermoconducteur 3, l'espace 101, et même le premier substrat thermoconducteur 2 et le troisième substrat thermoconducteur 4.

[0055] En d'autres termes, le premier conducteur 6 et/ou le deuxième conducteur 7 peuvent être une couverture, par exemple un emballage ou une enveloppe, pour ainsi entourer l'espace 101 et les substrats thermoconducteurs 2, 3, 4, 5, en fournissant ainsi encore une ouverture pour qu'un substrat à fritter puisse être fourni dans l'espace.

[0056] L'avantage du premier conducteur 6 et/ou du deuxième conducteur 7 entourant au moins partiellement un ou plusieurs des substrats thermoconducteurs 2, 3, 4, 5, et facultativement l'espace 101 est qu'une vitesse de chauffage plus uniforme et/ou plus élevée peut être obtenue.

[0057] La figure 3 représente un appareil de frittage 120 selon un mode de réalisation supplémentaire de la présente invention. L'appareil de frittage 120 comprend des premier 2, deuxième 3, troisième 4 et quatrième 5 substrats thermoconducteurs, et un premier conducteur 6 et un deuxième conducteur 7 comme divulgué sur la figure 2, fournissant un espace 101 entre le premier substrat thermoconducteur 2 et le deuxième substrat thermoconducteur 3.

[0058] L'appareil de frittage 120 comprend en outre des premiers moyens de chauffage 102a connectés au deuxième conducteur 7 et à une première source d'énergie 103a. L'appareil de frittage 120 comprend en outre des seconds moyens de chauffage 102b connectés au premier conducteur 6 et à une seconde source d'énergie 103b. Les sources d'énergie 103a, 103b peuvent être telles que décrites ci-dessus.

[0059] Les premiers moyens de chauffage 102a sont agencés, en utilisation, pour induire un courant électrique dans le deuxième conducteur 7. Les seconds moyens de chauffage 102b sont agencés, en utilisation, pour induire un courant électrique dans le premier conducteur 6. Lors de l'induction d'un courant électrique dans le conducteur 7, 6, le substrat thermoconducteur 5, 4 adjacent est chauffé. Par conséquent, le substrat thermoconducteur 3, 2 adjacent au substrat thermoconducteur 5, 4 chauffé est également chauffé, ce qui entraîne le chauffage et le frittage de l'objet à fritter.

[0060] La fourniture de moyens de chauffage 102a, 102b séparés, chacun connecté à un conducteur 7, 6 différent, présente comme avantage qu'une quantité ou un niveau différent de courant électrique peut être induit dans le conducteur respectif. En d'autres termes, les premiers moyens de chauffage 102a et les seconds moyens de chauffage 102b sont agencés de telle manière que, avantageusement, les quatrième 5 et deuxième 3, et les troisième 4 et premier 2 substrats thermoconducteurs, respectivement, puissent être chauffés à une température différente, à une vitesse de chauffage différente, et/ou pour une durée différente (c'est-à-dire un temps de frittage différent). Cela permet d'obtenir un substrat fritté ayant, par exemple, une première porosité au niveau d'une première surface et une seconde porosité différente de la première porosité au niveau d'une seconde surface, telle que la surface opposée à la première surface. Par exemple, un substrat présentant un gradient de porosité dans toute son épaisseur peut être obtenu. Ceci est obtenu car différentes températures de frittage et/ou différentes durées de frittage ont tendance à donner à un degré de porosité différent, c'est-à-dire plus bas ou plus élevé. Par exemple, un substrat à bicouche poreuse-dense peut être obtenu de cette manière à partir d'un unique substrat.

[0061] La figure 4 divulgue un mode de réalisation supplémentaire d'un appareil de frittage 130 de l'invention. L'appareil de frittage 130 comprend des premier 2, deuxième 3, troisième 4 et quatrième 5 substrats thermoconducteurs, et un premier conducteur 6 et un deuxième conducteur 7 comme divulgué sur la figure 2.

[0062] L'appareil de frittage 130 comprend en outre un troisième conducteur 8 et un quatrième conducteur 9. Avantageusement, le troisième conducteur 8 et le quatrième conducteur 9 présentent une conductivité électrique entre 10^{-3} S/cm et $75 * 10^4$ S/cm. Avantageusement, le troisième conducteur 8 et le quatrième conducteur 9 comprennent, indépendamment l'un de l'autre, du cuivre, un alliage de cuivre, de l'argent, un alliage d'argent, du tungstène, un alliage de tungstène, du fer, un alliage de fer, ou une combinaison de deux ou plus de ceux-ci.

[0063] Avantageusement, le troisième conducteur 8 est fourni à une extrémité proximale 60 du premier conducteur 6 et à une extrémité proximale 70 du deuxième conducteur. Avantageusement, le troisième conducteur 8 est en contact au moins partiellement, et de préférence entièrement, avec le premier conducteur 6 à son extrémité proximale 60 et/ou est en contact au moins partiellement, et de préférence entièrement, avec le deuxième conducteur 7 à son extrémité proximale 70.

[0064] Avantageusement, le quatrième conducteur 9 est fourni à une extrémité distale 61 du premier conducteur 6 et à une extrémité distale 71 du deuxième conducteur. Avantageusement, le quatrième conducteur 9 est en contact au moins partiellement, et de préférence entièrement, avec le premier conducteur 6 à son extrémité distale 61 et/ou est en contact au moins partiellement, et de préférence entièrement, avec le deuxième conducteur 7 à son extrémité distale 71.

[0065] Avantageusement, les moyens de chauffage 102 sont connectés au troisième conducteur 8 et au quatrième conducteur 9 et à une source d'énergie 103. Ainsi, en utilisation, un courant électrique peut être induit dans le troisième conducteur 8 et le quatrième conducteur 9, et ainsi dans le premier conducteur 6 et le deuxième conducteur 7, de manière à chauffer le substrat à fritter comme décrit ci-dessus.

[0066] La figure 5 divulgue encore un autre mode de réalisation d'un appareil de frittage 140 de l'invention. L'appareil de frittage 140 comprend des premier 2, deuxième 3, troisième 4 et quatrième 5 substrats thermoconducteurs, et un premier conducteur 6 et un deuxième conducteur 7 comme divulgué sur la figure 2.

[0067] L'appareil de frittage 140 comprend en outre un troisième conducteur comprenant une première partie 81 et une seconde partie 82. L'appareil de frittage 140 comprend en outre un quatrième conducteur comprenant une première partie 91 et une seconde partie 92. Avantageusement, les troisième et quatrième conducteurs présentent une conductivité électrique entre 10^{-3} S/cm et $75 * 10^4$ S/cm. Avantageusement, les troisième et quatrième conducteurs comprennent, indépendamment l'un de l'autre, du cuivre, un alliage de cuivre, de l'argent, un alliage d'argent, du tungstène, un alliage de tungstène, du fer, un alliage de fer, ou une combinaison de deux ou plus de ceux-ci.

[0068] Avantageusement, la première partie 81 du troisième conducteur est fournie à, et en particulier est en contact au moins partiellement avec, une extrémité proximale 60 du premier conducteur 6. Avantageusement, la première partie 91 du quatrième conducteur est fournie à, et en particulier est en contact au moins partiellement avec, une extrémité distale

61 du premier conducteur 6. Des seconds moyens de chauffage 102b sont connectés aux premières parties 81, 91 et à une seconde source d'énergie 103b. Les seconds moyens de chauffage 102b sont agencés pour induire, en utilisation, un courant dans les premières parties 81, 91 et, de cette manière, dans le premier conducteur 6. Il en résulte un chauffage par effet Joule du troisième substrat thermoconducteur 4 et du premier substrat thermoconducteur 2, comme expliqué ci-dessus.

[0069] Avantagement, la seconde partie 82 du troisième conducteur est fournie à, et en particulier est en contact au moins partiellement avec, une extrémité proximale 70 du deuxième conducteur 7. Avantagement, la seconde partie 92 du quatrième conducteur est fournie à, et en particulier est en contact au moins partiellement avec, une extrémité distale 71 du deuxième conducteur 7. Des premiers moyens de chauffage 102a sont connectés aux secondes parties 82, 92 et à une première source d'énergie 103a. Les premiers moyens de chauffage 102a sont agencés pour induire, en utilisation, un courant dans les secondes parties 82, 92 et, de cette manière, dans le deuxième conducteur 7. Il en résulte un chauffage par effet Joule du quatrième substrat thermoconducteur 5 et du deuxième substrat thermoconducteur 3, comme expliqué ci-dessus.

[0070] La figure 6 divulgue un appareil de frittage 150 selon un mode de réalisation supplémentaire de la présente divulgation. L'appareil de frittage 150 comprend des premier 2, deuxième 3, troisième 4 et quatrième 5 substrats thermoconducteurs, un premier conducteur 6 et un deuxième conducteur 7, des moyens de chauffage 102 et une source d'énergie 103, comme divulgué sur la figure 2.

[0071] L'appareil de frittage 150 comprend en outre un premier moyen de support et un second moyen de support. Avantagement, le premier moyen de support est fourni au niveau d'une surface externe du premier conducteur 6, c'est-à-dire du côté du premier conducteur 6 opposé au côté faisant face au, c'est-à-dire orienté vers (ou, dans le cas de la figure 6, en contact avec), le troisième substrat thermoconducteur 4. Avantagement, le second moyen de support est fourni au niveau d'une surface externe du deuxième conducteur 7.

[0072] Avantagement, chaque moyen de support comprend un substrat céramique 105. Avantagement, le substrat céramique 105 est thermiquement et/ou électriquement isolant, de préférence thermiquement et électriquement isolant. Avantagement, le substrat céramique 105 comprend ou consiste essentiellement en un oxyde d'aluminium.

[0073] Avantagement, chaque moyen de support comprend en outre au moins un composant métallique de support 106, de préférence au moins deux, de manière davantage préférée au moins trois, c'est-à-dire une pluralité de composants métalliques de support 106. Avantagement, le composant métallique de support 106 comprend ou consiste essentiellement en un ou plusieurs métaux et/ou alliages de ceux-ci, qui sont capables de résister aux températures de frittage. En particulier, le composant métallique de support 106 comprend ou consiste essentiellement en un ou plusieurs métaux et/ou alliages de ceux-ci ayant une température de fusion d'au moins 1500 °C, par exemple d'au moins 1750 °C ou d'au moins 2000 °C, de manière à éviter la fusion du composant métallique de support 106 pendant le chauffage et le frittage.

[0074] Avantagement, le composant métallique de support 106 comprend ou consiste essentiellement en du tungstène ou un alliage de celui-ci. Des exemples non limitatifs d'alliages comprenant du tungstène sont les alliages de tungstène-nickel-fer, les alliages de tungstène-nickel-cuivre et les alliages de carbure de tungstène.

[0075] Le composant métallique de support 106 peut avoir n'importe quelle forme qui permet d'agencer le composant métallique de support 106 entre le substrat céramique 105 et le (premier ou deuxième) conducteur 6, 7, pour que le composant métallique de support 106 entre en contact à la fois avec le substrat céramique 105 et le conducteur 6, 7. Des exemples non limitatifs de formes comprennent les cylindres, les cubes, les formes pyramidales et les sphères. Des exemples pratiques non limitatifs de structures comprennent les broches, les tiges et les cylindres.

[0076] Avantagement, le composant métallique de support 106 est fixé au substrat céramique 105. La fixation peut être n'importe quel type de fixation connue dans le domaine. Avantagement, le composant métallique de support 106 est noyé dans le substrat céramique 105.

[0077] Lors d'un contact, les moyens de support fournissent un support mécanique aux conducteurs et, par conséquent, également aux substrats thermoconducteurs. Les moyens de support supportent mécaniquement de cette manière, lors de l'utilisation de l'appareil de frittage 150, le substrat à fritter. Cela ne rend plus nécessaire de fournir le substrat à fritter dans l'espace 101 avec un support ou une structure de support. En d'autres termes, l'appareil de frittage 150, comprenant des moyens de support, permet le frittage de substrats autoportants.

[0078] La figure 7 divulgue un appareil de frittage 160 selon un mode de réalisation supplémentaire de la présente divulgation. L'appareil de frittage 160 comprend des premier 2, deuxième 3, troisième 4 et quatrième 5 substrats thermoconducteurs, et des premier 6, deuxième 7, troisième 8 et quatrième 9 conducteurs, comme divulgué sur la figure 4. L'appareil de frittage 160 comprend en outre des premier et second moyens de support, comme divulgué sur la figure 6.

[0079] La figure 8 divulgue un appareil de frittage 170 selon un mode de réalisation supplémentaire de la présente divulgation. L'appareil de frittage 170 comprend des premier 2, deuxième 3, troisième 4 et quatrième 5 substrats thermoconducteurs, un premier conducteur 6 et un deuxième conducteur 7, des premiers moyens de chauffage 102a et des seconds moyens de chauffage 102b, et une première source d'énergie 103a et une seconde source d'énergie 103b, comme divulgué sur la figure 3. L'appareil de frittage 170 comprend en outre des premier et second moyens de support, comme divulgué sur la figure 6.

[0080] Les appareils de frittage de la présente invention peuvent être fournis dans une configuration sensiblement horizontale, c'est-à-dire à un angle de 90° par rapport au champ gravitationnel terrestre (représenté sur les figures 1 à 8). Les appareils de frittage peuvent également être fournis dans une position sensiblement verticale, c'est-à-dire à un angle de 0° par rapport au champ gravitationnel terrestre, comme représenté à la figure 9. Les appareils de frittage peuvent également être fournis dans n'importe quelle position entre une position sensiblement horizontale (c'est-à-dire un angle de 90°) et une position sensiblement verticale (c'est-à-dire un angle de 0°).

[0081] La figure 9 représente un appareil de frittage 180 similaire à l'appareil de frittage 150 de la figure 6, mais agencé dans une position verticale (angle de 0° par rapport au champ gravitationnel terrestre). Les inventeurs ont découvert qu'une position verticale permet, lors du frittage, de faciliter le déplacement des particules à l'intérieur de l'objet ou du substrat à fritter du fait de la gravitation. Une telle configuration verticale est particulièrement avantageuse pour le frittage des substrats plats, tels que les films, les feuilles et les membranes.

[0082] La figure 10 représente un appareil de frittage 190 selon un autre mode de réalisation. L'appareil de frittage 190 comprend un premier substrat thermoconducteur 2 en contact avec un troisième substrat thermoconducteur 4, et un deuxième substrat thermoconducteur 3 en contact avec un quatrième substrat thermoconducteur 5. Les substrats thermoconducteurs 2, 3, 4, 5 sont avantageusement tels que décrits ci-dessus. L'appareil de frittage 190 comprend en outre un moyen pour surveiller la température 104, qui est avantageusement tel que décrit ci-dessus.

[0083] L'appareil de frittage 190 comprend en outre un moyen de chauffage 10, qui comprend une source de lumière. Avantageusement, la source lumineuse est une source de lumière infrarouge (IR). L'appareil de frittage 190 comprend en outre une lentille 11 agencée entre la source de lumière 10 et les substrats thermoconducteurs 2, 3, 4, 5. Avantageusement, la lentille 11 est agencée pour focaliser, en utilisation, le faisceau lumineux émis par la source de lumière, en particulier un faisceau de lumière IR, vers les substrats thermoconducteurs 2, 3, 4, 5 et/ou vers l'espace entre le premier substrat thermoconducteur 2 et le deuxième substrat thermoconducteur 3. Cela permet de réduire les pertes d'énergie (de chaleur) et fournit un appareil de frittage plus efficace.

[0084] La figure 11 représente un appareil de frittage 200 selon un mode de réalisation supplémentaire. L'appareil de frittage 200 comprend un premier substrat thermoconducteur 2 en contact avec un troisième substrat thermoconducteur 4, et un deuxième substrat thermoconducteur 3 en contact avec un quatrième substrat thermoconducteur 5. Les substrats thermoconducteurs 2, 3, 4, 5 sont avantageusement tels que décrits ci-dessus. L'appareil de frittage 200 comprend en outre un premier conducteur 6 et un deuxième conducteur 7, qui sont avantageusement tels que décrits ci-dessus, et qui sont en contact avec le troisième substrat thermoconducteur 4 et le quatrième substrat thermoconducteur 5, respectivement.

[0085] L'appareil de frittage 200 comprend en outre des premier et second moyens de support comprenant un substrat céramique 105 et au moins un composant métallique de support 106. Les premier et second moyens de support sont avantageusement tels que décrits ci-dessus.

[0086] L'appareil de frittage 200 comprend en outre une source de lumière IR 10. La source de lumière IR 10 est agencée de telle manière que, en utilisation, la lumière IR émise chauffe les conducteurs 6, 7 et les substrats thermoconducteurs 2, 3, 4, 5, et donc également le substrat à fritter.

Exemples

[0087] Un substrat poreux de référence et un substrat poreux de l'invention ont été préparés à partir d'une structure crue ayant la même composition, le substrat poreux de référence étant obtenu par frittage au moyen d'un appareil de frittage de la technique antérieure, et le substrat poreux de l'invention est obtenu par frittage au moyen d'un appareil de frittage selon la présente invention.

[0088] Tout d'abord, un mélange a été préparé en mélangeant 3 g de $\text{Li}_{6,25}\text{Al}_{0,25}\text{La}_3\text{Zr}_2\text{O}_{12}$ (LLZO dopé à l'aluminium, ou Al-LLZO), 0,075 g de Li_2CO_3 (2,5 % en poids du mélange), 0,56 ml de plastifiant, 0,59 g de tensioactif et 2,07 g de poly(méthacrylate de méthyle) (PMMA) en tant que composé porogène et 5,9 ml de solvant comprenant 5 % en volume d'isopropanol, 87 % en volume d'éthanol et 8 % en volume de 1-propanol avec une spatule, suivi d'un broyage à billes pendant 18 heures à 165 tr/min. Une solution de liant a été préparée en ajoutant 3 g de polyvinylbutyral à 8,89 ml d'isopropanol. 2,51 g de la solution de liant a été ajouté au mélange (une suspension), suivi d'un autre broyage à billes pendant 2 heures à 200 tr/min.

[0089] Le mélange a été coulé en film par coulée en bande sur un substrat de verre. Cela a été effectué deux fois, pour obtenir deux structures crues (c'est-à-dire une pour chaque procédé de frittage). Les structures crues obtenues ont été conservées pendant 1 heure dans les conditions ambiantes pour permettre l'évaporation du solvant, puis ont été retirées du substrat de verre.

[0090] Les structures crues ont ensuite été placées entre deux plaques d'alumine. Le déliantage des structures crues a été effectué à 600 °C à l'air pour éliminer complètement les solvants (températures d'évaporation d'au plus 150 °C), le PMMA (vers 350 °C) et les composés organiques résiduels, tels que les liants et les plastifiants (à environ 600 °C).

[0091] Un substrat LLZO (fritté) de référence a été obtenu en plaçant une première structure crue entre deux feuilles de carbone, qui ont ensuite été prises en sandwich entre deux plaques de carbone. Le frittage a été effectué sous une atmosphère d'azote à 1250 °C pendant 30 secondes.

[0092] Les images prises au MEB de la section transversale (figures 12A et 12B, à différents grossissements) du substrat LLZO fritté de référence obtenu montrent clairement que le substrat LLZO fritté de référence ainsi obtenu n'était pas plat, mais fortement incurvé. Quelques fissures ont également été observées. Les images prises au MEB ont été enregistrées au moyen d'un microscope de table Hitachi TM3030Plus avec une tension d'accélération de 10 kV.

[0093] Des résultats similaires ont également été obtenus par frittage dans le même montage, sous une atmosphère d'azote à des températures comprises entre 1000 °C et 1250 °C pendant une durée située entre 30 secondes et 120 secondes.

[0094] Un substrat LLZO (fritté) de l'invention a été obtenu en plaçant une seconde structure crue, ayant la même composition que la première structure crue, dans un appareil 160 selon la figure 7.

[0095] Le premier substrat thermoconducteur 2 et le deuxième substrat thermoconducteur 3 consistaient essentiellement en des feuilles de carbone. Le troisième substrat thermoconducteur 4 et le quatrième substrat thermoconducteur 5 étaient des plaques de nitrure de bore. Les plaques de nitrure de bore étaient rigides et sensiblement plates. Le premier conducteur 6 et le deuxième conducteur 7 consistaient essentiellement en du carbone, et étaient des feutres de carbone. À l'extérieur, des moyens de support ont été fournis, comprenant un substrat en alumine 105 et une pluralité de broches en tungstène en tant que composant métallique de support 106. Un troisième conducteur en cuivre 8 a été fourni à une extrémité proximale des premier 6 et deuxième 7 conducteurs, et un quatrième conducteur en cuivre 9 a été fourni à une extrémité distale des premier 6 et deuxième 7 conducteurs. Le troisième conducteur 8 et le conducteur 9 étaient connectés au moyen d'un circuit électronique 102 en tant que moyen de chauffage à une source d'énergie 103.

[0096] Après avoir placé la seconde structure crue entre les feuilles de carbone 2, 3, la source d'énergie 103 a été mise en marche et un courant électrique a été induit dans, et a traversé, les feutres de carbone. Les pertes résistives du courant ont entraîné le chauffage des plaques de nitrure de bore, qui à leur tour ont chauffé les feuilles de carbone, et la structure crue à une vitesse de chauffage d'environ 60 °C/s à une température de 1250 °C. Une fois la température de 1250 °C atteinte, elle a été maintenue pendant 30 secondes en poursuivant le passage du courant à travers les feutres de carbone.

[0097] Les images prises au MEB de la section transversale (figures 13A et 13B, à différents grossissements) du substrat LLZO fritté de l'invention obtenu montrent clairement que le substrat LLZO fritté de l'invention était sensiblement plat. Des résultats similaires ont également été obtenus par frittage dans les mêmes appareil et montage à des températures entre 1000 °C et 1250 °C pendant une durée située entre 30 secondes et 120 secondes.

Nomenclature

[0098]

2	premier substrat thermoconducteur
3	deuxième substrat thermoconducteur
4	troisième substrat thermoconducteur
5	quatrième substrat thermoconducteur
6	premier conducteur
7	deuxième conducteur
8	troisième conducteur
9	quatrième conducteur
10	source de lumière infrarouge (IR)
11	lentille
60	extrémité proximale du premier conducteur
61	extrémité distale du premier conducteur
70	extrémité proximale du deuxième conducteur
71	extrémité distale du deuxième conducteur
81	(première partie du) troisième conducteur
82	(seconde partie du) troisième conducteur
91	(première partie du) quatrième conducteur
92	(seconde partie du) quatrième conducteur
100	appareil pour frittage
101	espace entre les premier et deuxième substrats thermoconducteurs
102	moyen pour induire un courant électrique
102a	moyen pour induire un courant électrique
102b	moyen pour induire un courant électrique
103	source d'énergie
103a	source d'énergie
103b	source d'énergie

104	moyen pour surveiller la température
105	substrat céramique thermiquement et électroniquement isolant
106	composant métallique de support
110	appareil de frittage
120	appareil de frittage
130	appareil de frittage
140	appareil de frittage
150	appareil de frittage
160	appareil de frittage
170	appareil de frittage
180	appareil de frittage
190	appareil de frittage
200	appareil de frittage

Revendications

- Appareil de frittage (100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190) comprenant :
 - un premier substrat thermoconducteur (2) et un deuxième substrat thermoconducteur (3) agencés à une distance l'un de l'autre, pour ainsi fournir un espace (101) pour recevoir un substrat à fritter, et fournis entre
 - un troisième substrat thermoconducteur (4) et un quatrième substrat thermoconducteur (5), et
 - des moyens de chauffage (10, 102, 102a, 102b) pour chauffer le troisième substrat thermoconducteur (4) et/ou le quatrième substrat thermoconducteur (5) à une vitesse de chauffage d'au moins 50 °C/s jusqu'à une température entre 750 °C et 1400 °C, de préférence entre 900 °C et 1250 °C, pour ainsi chauffer le premier substrat thermoconducteur (2) et/ou le deuxième substrat thermoconducteur (3), respectivement, dans lequel le premier substrat thermoconducteur (2) et le deuxième substrat thermoconducteur (3) comprennent du carbone, caractérisé en ce que le troisième substrat thermoconducteur (4) et le quatrième substrat thermoconducteur (5) comprennent, indépendamment l'un de l'autre, un ou plusieurs nitrures métalliques et/ou oxydes métalliques.
- Appareil de frittage (100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190) selon la revendication 1, dans lequel le troisième substrat thermoconducteur (4) et le quatrième substrat thermoconducteur (5) comprennent, indépendamment l'un de l'autre, un ou plusieurs nitrures métalliques monocristallins et/ou oxydes métalliques monocristallins.
- Appareil de frittage (100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel le nitrure métallique comprend un nitrure de bore et/ou un nitrure d'aluminium.
- Appareil de frittage (100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel l'oxyde métallique comprend une alumine tel qu'un saphir.
- Appareil de frittage (110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190) selon la revendication 1, dans lequel le premier substrat thermoconducteur (2) est en contact au moins partiellement avec le troisième substrat thermoconducteur (4), et/ou le deuxième substrat thermoconducteur (3) est en contact au moins partiellement avec le quatrième substrat thermoconducteur (5).
- Appareil de frittage (100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190) selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre un premier conducteur (6) au niveau d'une surface externe du troisième substrat thermoconducteur (4) et/ou un deuxième conducteur (7) au niveau d'une surface externe du quatrième substrat thermoconducteur (5), de préférence dans lequel le premier conducteur (6) et le deuxième conducteur (7) comprennent du carbone.
- Appareil de frittage (150, 160, 170, 180) selon la revendication 6, comprenant en outre un premier moyen de support fourni au niveau d'une surface externe du premier conducteur (6) et/ou un second moyen de support fourni au niveau d'une surface externe du deuxième conducteur (7), dans lequel chacun parmi le premier moyen de support et le second moyen de support comprend indépendamment un substrat céramique thermiquement et électroniquement isolant (105) et au moins un composant métallique de support (106), dans lequel le moyen de support est agencé de telle sorte que le composant métallique de support (106) est en contact avec le substrat céramique thermiquement et électroniquement isolant (105) et le conducteur (6, 7).
- Appareil de frittage (150, 160, 170, 180) selon la revendication 7, dans lequel le substrat céramique thermiquement et électroniquement isolant (105) comprend une alumine.
- Appareil de frittage (150, 160, 170, 180) selon la revendication 7, dans lequel le composant métallique de support (106) comprend du tungstène ou un alliage de celui-ci.
- Appareil de frittage (100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180) selon l'une des revendications 6 à 9, dans lequel les moyens de chauffage (102, 102a, 102b) comprennent un moyen pour induire un courant électrique dans le premier conducteur (6) et/ou le deuxième conducteur (7), pour ainsi, en utilisation, chauffer le troisième substrat thermoconducteur (4) et/ou le quatrième substrat thermoconducteur (5).

11. Appareil de frittage (130, 140, 160) selon l'une des revendications 6 à 9, comprenant en outre un troisième conducteur (8, 81, 82) à une extrémité proximale (60) du premier conducteur (6) et/ou à une extrémité proximale (70) du deuxième conducteur (7), et un quatrième conducteur (9, 91, 92) à une extrémité distale (61) du premier conducteur (6) et/ou à une extrémité distale (71) du deuxième conducteur (7), dans lequel les moyens de chauffage (102, 102a, 102b) comprennent un moyen pour induire un courant électrique dans le troisième conducteur (8, 81, 82) et le quatrième conducteur (9, 91, 92), pour ainsi, en utilisation, induire le courant électrique dans le premier conducteur (6) et/ou le deuxième conducteur (7) et le chauffage du troisième substrat thermoconducteur (4) et/ou du quatrième substrat thermoconducteur (5), respectivement, de préférence dans lequel le troisième conducteur (8, 81, 82) et le quatrième conducteur (9, 91, 92) comprennent du cuivre, du tungstène, ou une combinaison de ceux-ci.
12. Appareil de frittage (190) selon l'une des revendications 1 à 7, dans lequel le moyen de chauffage (10) comprend une source de lumière infrarouge IR.
13. Appareil de frittage (190) selon la revendication 12, comprenant en outre une ou plusieurs lentilles (11) agencées pour permettre la focalisation du faisceau de lumière IR vers le troisième substrat conducteur et/ou le quatrième substrat conducteur.
14. Appareil de frittage (120, 140, 170) selon l'une des revendications précédentes, dans lequel les moyens de chauffage (10, 102a, 102b) sont agencés pour permettre, en utilisation, le chauffage du troisième substrat thermoconducteur (4) et du quatrième substrat thermoconducteur (5) indépendamment l'un de l'autre.
15. Appareil de frittage (100, 110, 120, 130, 140, 150, 160, 170, 180, 190) selon l'une des revendications précédentes, comprenant en outre des moyens pour surveiller la température (104) de l'espace (101) entre le premier substrat thermoconducteur (2) et le deuxième substrat thermoconducteur (3), de préférence dans lequel les moyens pour surveiller la température (104) comprennent une caméra infrarouge IR.

Fig. 1

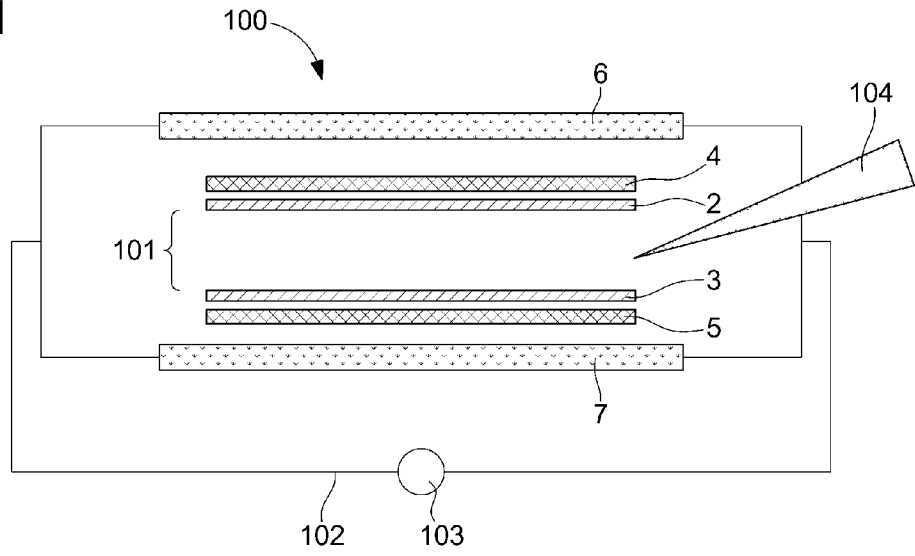


Fig. 2

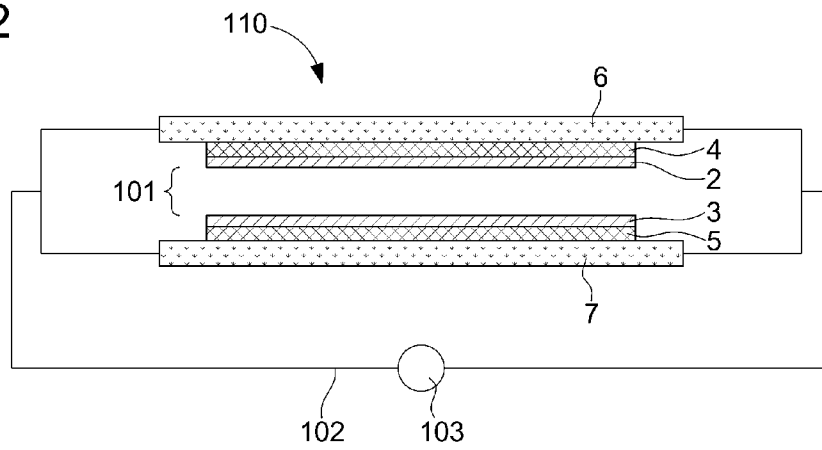


Fig. 3

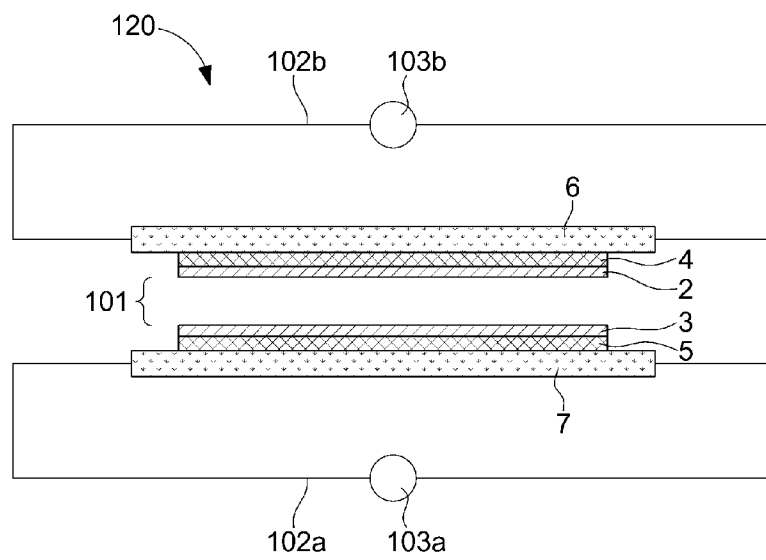


Fig. 4

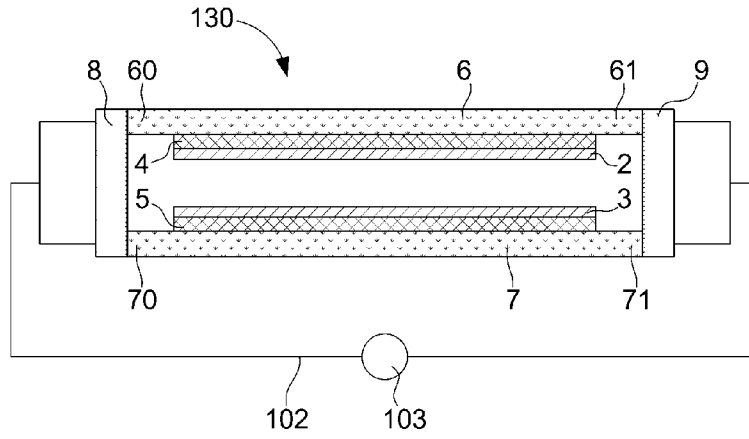


Fig. 5

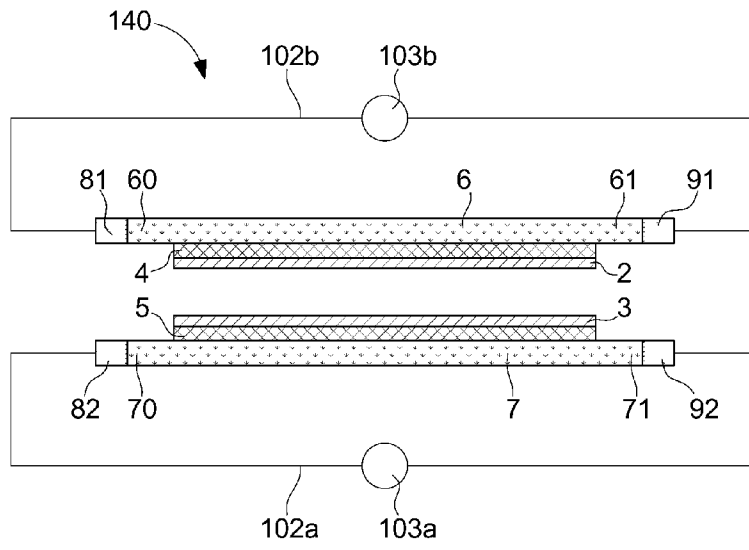


Fig. 6

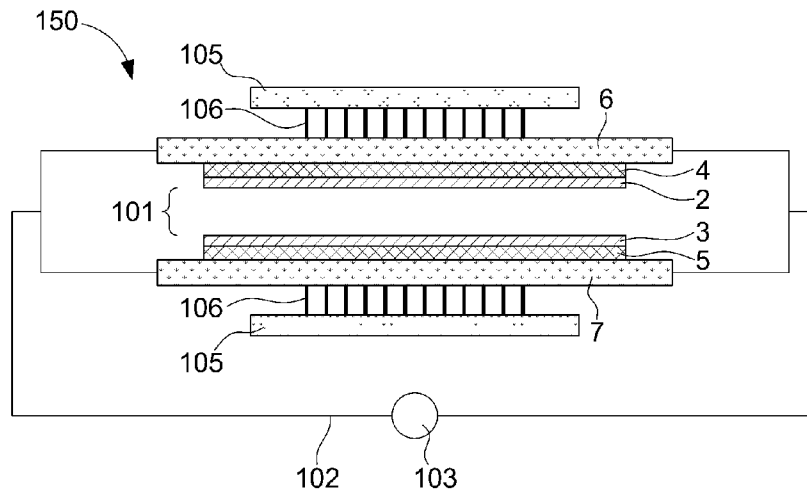


Fig. 7

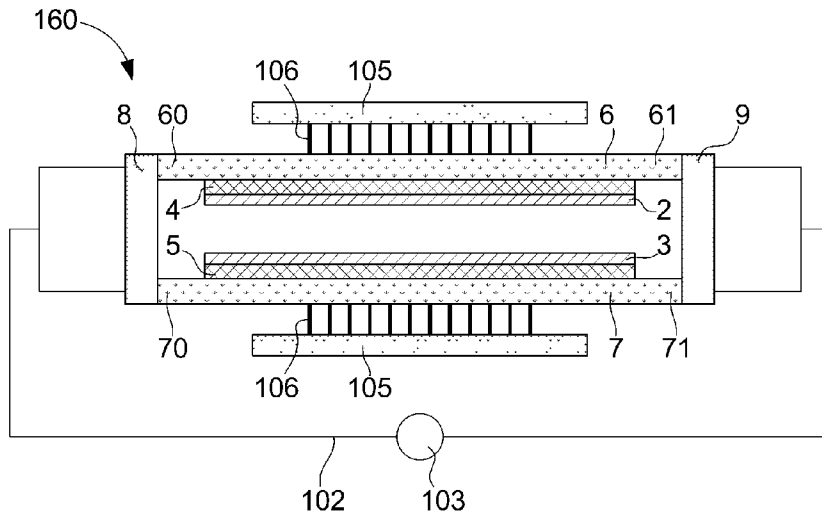


Fig. 8

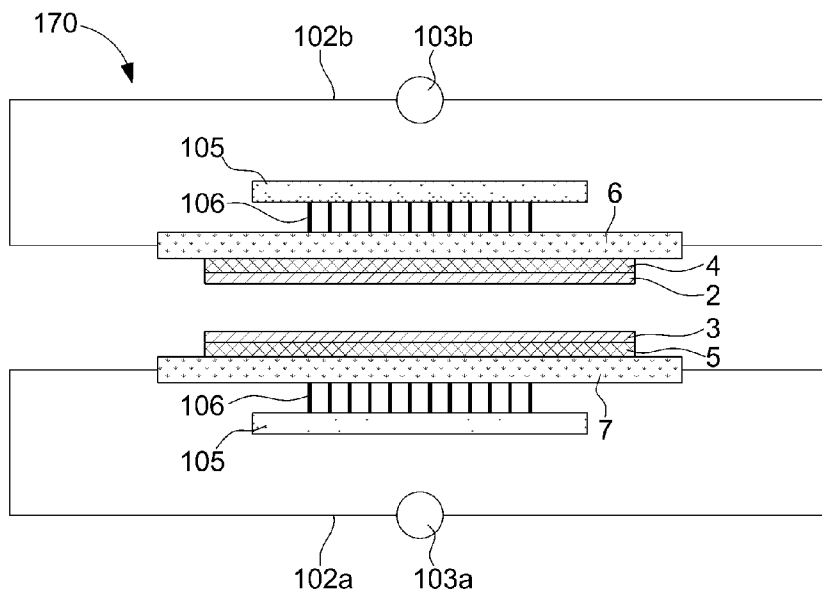


Fig. 9

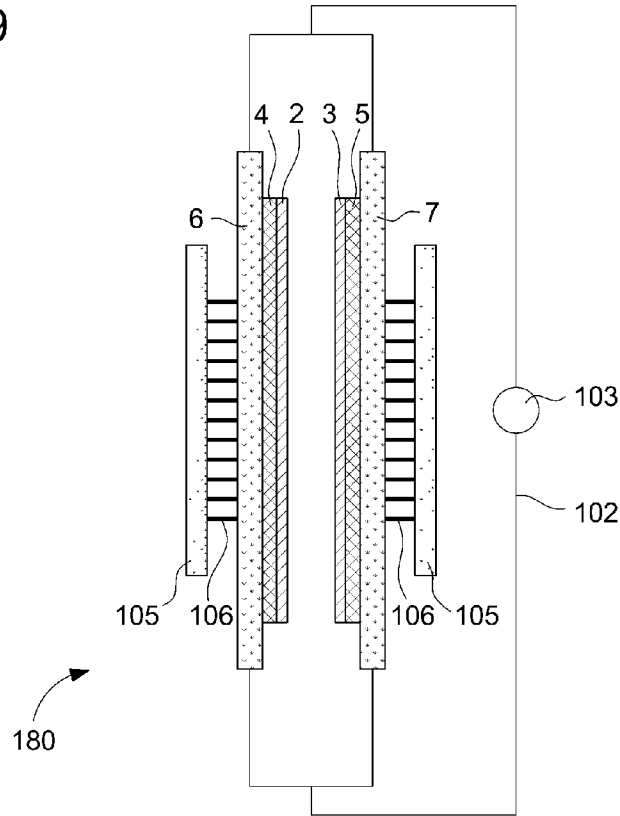


Fig. 10

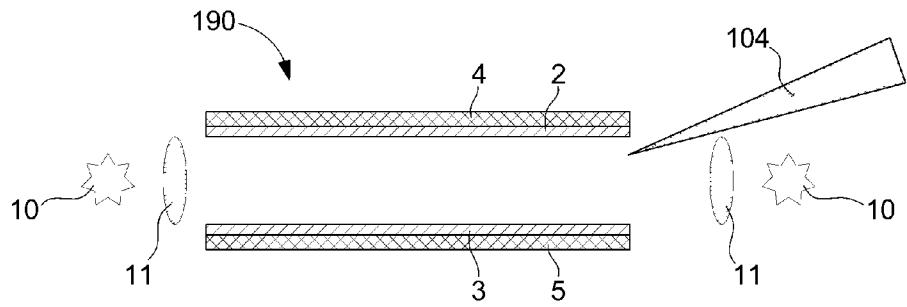


Fig. 11

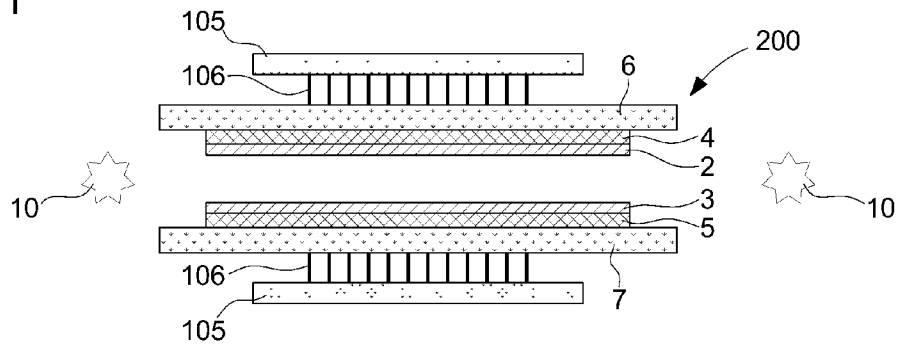


Fig. 12A

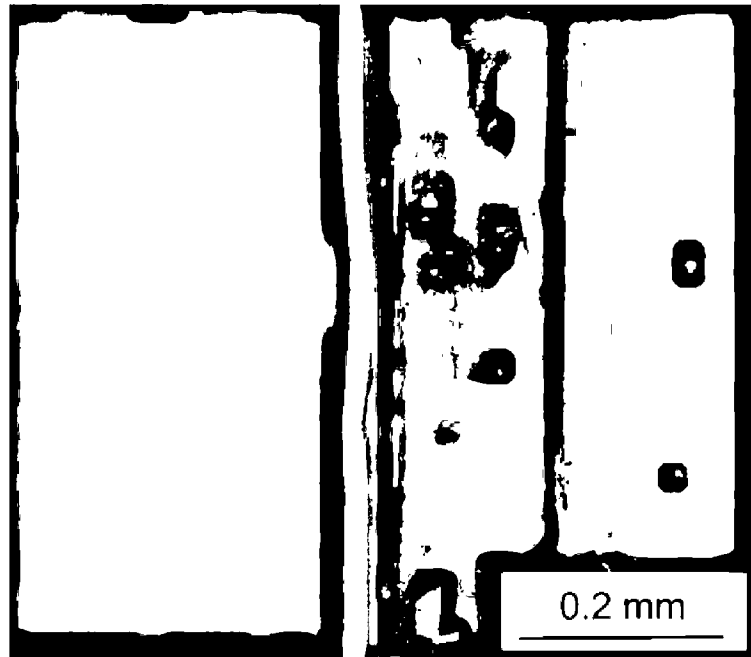


Fig. 12B

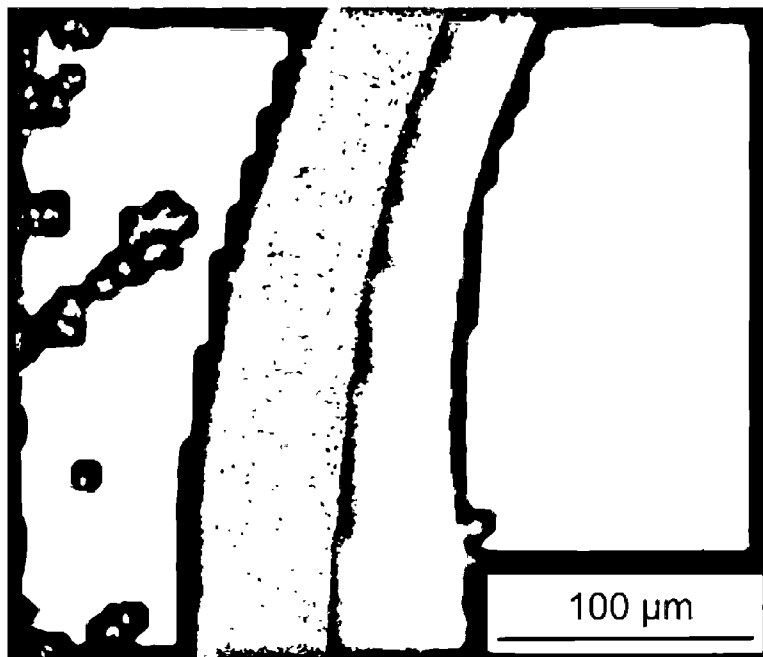


Fig. 13A

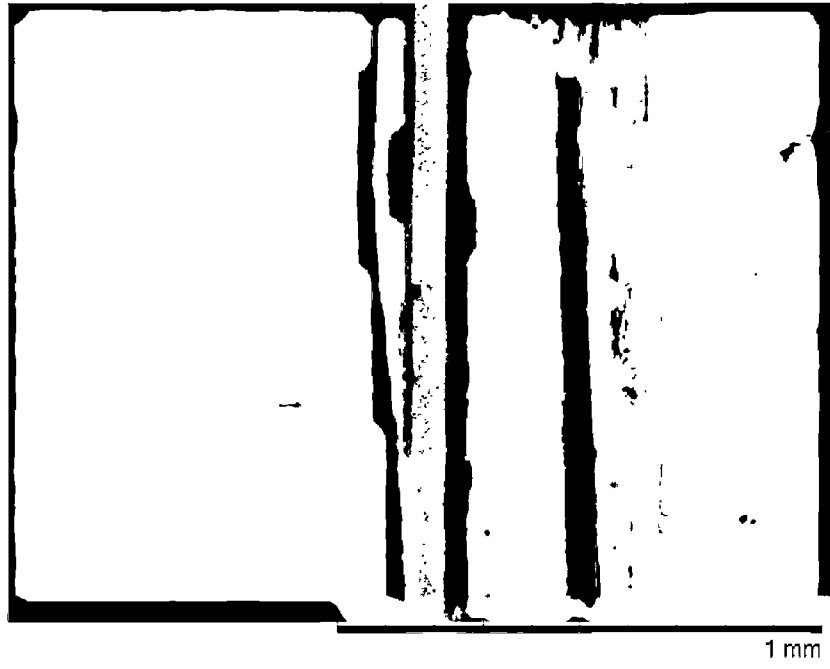


Fig. 13B

