

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(43) Date de la publication internationale
27 août 2020 (27.08.2020)



(10) Numéro de publication internationale
WO 2020/169933 A1

(51) Classification internationale des brevets :

H02J 50/00 (2016.01) *H01L 35/22* (2006.01)
F02C 7/00 (2006.01) *B64D 41/00* (2006.01)
H01L 35/34 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2020/050321

(22) Date de dépôt international :

20 février 2020 (20.02.2020)

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

1901769 21 février 2019 (21.02.2019) FR

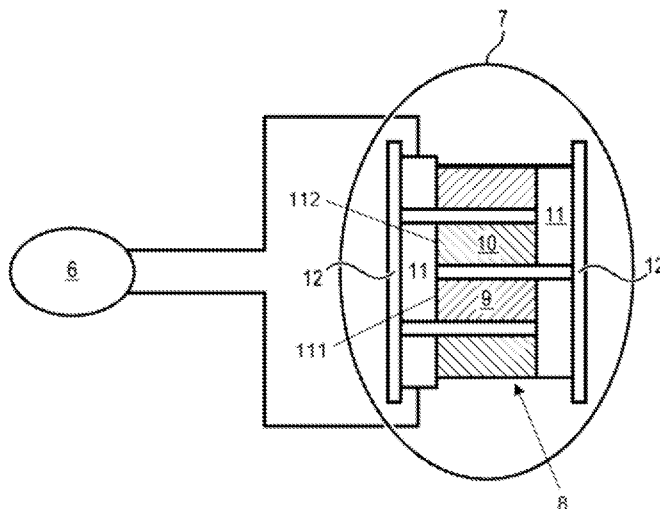
(71) **Déposants :** **SAFRAN** [FR/FR] ; 2, boulevard du Général Martial Valin, 75015 PARIS (FR). **UNIVERSITE DE LORRAINE** [FR/FR] ; 34, cours Léopold, 54000 NANCY (FR). **CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (CNRS)** [FR/FR] ; 3, rue Michel Ange, 75016 PARIS (FR).

(72) **Inventeurs :** **SALLOT, Pierre Jean** ; c/o SAFRAN CEPI, Rond-Point René Ravaud - Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR). **DESGRANGES, Clara** ; c/o SAFRAN CEPI, Rond-Point René Ravaud - Réau, 77550 MOISSY-CRAMAYEL (FR). **BRIX, Florian** ; 54, boulevard de Scarpone, 54000 NANCY (FR). **MATHIEU, Stéphane** ; 64 Avenue Jean Jaures, 54500 VANDOEUVRE LES NANCY (FR). **VILASI, Michel** ; 13 rue du Hameau, 54136 BOUXIERES AUX DAMES (FR).

(54) **Title:** THERMOELECTRIC SUPPLY MODULE OF A MEASUREMENT DEVICE FOR A TURBOMACHINE

(54) **Titre :** MODULE D'ALIMENTATION THERMOELECTRIQUE DE DISPOSITIF DE MESURE POUR TURBOMACHINE

FIG. 2



(57) **Abstract:** The invention relates to an on-board measurement device for a turbomachine, having a sensor (6) and a supply unit (7) configured to supply the sensor (6) with energy, the supply unit (7) having a thermoelectric supply module (8) having two substantially parallel support plates (12), a first, n-type leg (9) extending from one plate (12) to the other plate (12), a second, p-type leg (10) extending from one plate (12) to the other plate (12), and an interconnect element (11) connected to the first leg (9) on one side and to the second leg (10) on the other side, wherein: -the first leg (9) comprises a phase of an iron and silicon alloy, -the second leg (10) comprises a phase of a manganese and silicon alloy, -the interconnect element (11) comprises a solid solution comprising manganese, iron and silicon.

(57) **Abrégé :** L'invention concerne un dispositif de mesure embarqué pour turbomachine, comportant un capteur (6) et une unité d'alimentation (7) configurée pour alimenter en énergie le capteur (6), l'unité d'alimentation (7) comportant un module d'alimentation thermoélectrique (8) comportant deux plaques support (12) sensiblement parallèles, une première jambe (9) de type n s'étendant d'une plaque (12) à l'autre plaque (12), une deuxième jambe (10) de type p s'étendant d'une plaque (12) à l'autre plaque (12), et un élément

(74) **Mandataire : REGIMBEAU** ; 20, rue de Chazelles, 75847
PARIS CEDEX 17 (FR).

(81) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible*) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) **États désignés** (*sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible*) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée:

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

d'interconnexion (11) connecté d'une part à la première jambe (9) et d'autre part à la deuxième jambe (10), dans lequel: -la première jambe (9) comporte une phase d'un alliage de Fer et de Silicium, -la deuxième jambe (10) comporte une phase d'un alliage de Manganèse et de Silicium, -l'élément d'interconnexion (11) comporte une solution solide comportant du Manganèse, du Fer et du Silicium.

**MODULE D'ALIMENTATION THERMOELECTRIQUE DE DISPOSITIF
DE MESURE POUR TURBOMACHINE**

DOMAINE TECHNIQUE GÉNÉRAL ET ART ANTÉRIEUR

L'invention concerne le domaine général des capteurs embarqués
5 utilisés dans l'aéronautique pour suivre l'état ou le fonctionnement de tout
ou partie d'une turbomachine.

Plus précisément, elle concerne les modules d'alimentation de ces
capteurs.

Les turbomachines sont aujourd'hui classiquement équipées de
10 capteurs embarqués (capteurs de contraintes, capteurs de température,
etc.).

Les mesures de ces capteurs sont par exemple utilisées en
fonctionnement, à des fins d'optimisation du fonctionnement de la
turbomachine ; elles peuvent également être utilisées à des fins de
15 maintenance des équipements

De tels capteurs doivent être alimentés électriquement afin de
fonctionner, malgré les sollicitations thermiques et mécaniques imposées
par leur environnement.

En fonction des contraintes d'installation de ces capteurs, par
20 exemple dans des zones confinées ou fortement sollicitées thermiquement,
il n'est pas toujours possible de tirer des fils d'alimentation de manière à
connecter les capteurs à une source de puissance centralisée, ni d'y accoler
un système de batteries, bien souvent trop volumineux.

Dans de telles configurations d'installation, par exemple en présence
25 de fortes contraintes d'encombrement, des modules thermoélectriques
peuvent être utilisés pour alimenter les capteurs, tirant profit des gradients
thermiques disponibles à proximité de la zone d'implantation du capteur.

Le fonctionnement d'un module thermoélectrique est basé sur
l'exploitation de l'effet Seebeck : une différence de potentiel est générée

entre deux points de jonction de conducteurs de natures différentes soumis à une différence de température.

Classiquement, un module thermoélectrique tel que représenté en figure 1 est constitué de plusieurs éléments permettant de convertir un gradient thermique entre une zone « froide » et une zone « chaude » en différence de potentiel, notamment d'une succession de couples comportant une jambe de type n (jambe 2), et une jambe de type p (jambe 3), chaque couple étant associé à un élément d'interconnexion 4 reliant les deux jambes 2 et 3.

Les éléments d'interconnexion 4 sont disposés au contact de deux plaques conductrices C, une plaque support C étant au contact des éléments d'interconnexion 4 faisant liaison d'une première jambe 2 à une deuxième jambe 3 dans le sens de circulation du courant, l'autre plaque support C étant au contact des éléments d'interconnexion 4 faisant liaison d'une deuxième jambe 3 à une première jambe 2 dans le sens de circulation du courant.

Ainsi, les jambes de type n et les jambes de type p sont disposées de manière alternée, et connectées de manière à former un circuit en série afin d'ajouter la différence de potentiel générée par chaque couple jambe n/ jambe p.

Par plaque conductrice C, il est entendu un conducteur thermique et isolant électrique, de manière à homogénéiser le gradient de température auquel est soumis chaque jambe tout en évitant d'uniformiser le potentiel électrique des différents éléments d'interconnexion 4 en contact avec la même plaque.

Ces différents éléments sont agencés de manière à former un circuit électrique dans un module de manière à cumuler la différence de potentiel générée par chaque couple n / p.

De nombreux matériaux thermoélectriques existent aujourd'hui, présentant des plages de température de fonctionnement différentes selon les matériaux les constituant.

Pour les applications aéronautiques, particulièrement les turbomachines, les températures de fonctionnement sont souvent comprises entre 600°C et 1000°C.

Néanmoins, les sollicitations spécifiques développées par les structures aéronautiques imposent au module thermoélectrique d'être résistant :

- Au cyclage thermique, induit par les transitoires entre le décollage, la croisière et l'atterrissage ;
- Au vieillissement longue durée à température élevée, la maintenance de ces modules devant être cohérente de celle des pièces auxquelles ils sont fixés ;
- A l'oxydation sous air, les environnements turbines étant obligatoirement sous air et à température élevée.

La présente invention cherche donc à répondre à ces exigences en proposant un assemblage de matériaux compatibles et permettant de remplir la fonction de générateur électrique.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE DE L'INVENTION

Un but de l'invention est de proposer une cellule thermoélectrique qui résiste aux conditions environnementales liées à une utilisation dans une turbomachine.

Un autre but de l'invention est de maximiser la cohérence mécanique de la cellule thermoélectrique, en limitant les phénomènes de délamination et les contraintes internes.

Un autre but de l'invention est d'optimiser la compatibilité chimique des différentes phases de la cellule thermoélectrique.

Un autre but de l'invention est de réaliser une cellule thermoélectrique capable de générer une couche d'oxyde protectrice lorsqu'elle est soumise à des conditions oxydantes.

L'invention propose un module d'alimentation thermoélectrique pour dispositif de mesure embarqué pour turbomachine, le module

d'alimentation thermoélectrique comportant deux plaques support sensiblement parallèles, une première jambe de type n s'étendant d'une plaque à l'autre plaque, une deuxième jambe de type p s'étendant d'une plaque à l'autre plaque, et un élément d'interconnexion connecté d'une part
5 à la première jambe et d'autre part à la deuxième jambe, dans lequel :

- la première jambe comporte une phase d'un alliage de Fer et de Silicium,
- la deuxième jambe comporte une phase d'un alliage de Manganèse et de Silicium,
- 10 - l'élément d'interconnexion comporte une solution solide comportant du Manganèse, du Fer et du Silicium.

Optionnellement mais avantageusement, un tel dispositif est complété par les caractéristiques suivantes, prises seules ou en combinaison :

- 15 - l'élément d'interconnexion comporte une phase de TiMnSi_2 et une phase de TiFeSi_2 ;
- l'élément d'interconnexion comporte une première zone en contact avec la première jambe et une deuxième zone en contact avec la deuxième jambe, dans lequel la première zone comporte du TiFeSi_2 et la deuxième zone comporte du TiMnSi_2 ;
- 20 - la première jambe comporte une phase de FeSi_2 , et la deuxième jambe comporte une phase de $\text{MnSi}_{1,7}$;
- la première et/ou la deuxième jambe comporte un élément de dopage choisi parmi l'Aluminium, le Chrome, le Cobalt, le Germanium, le Bore, l'Antimoine, le Tellure, le Phosphore, le Carbone, l'Azote, le Fluor, le
25 Soufre, ou une combinaison de ceux-ci ;
- la proportion massique d'éléments de dopage dans le matériau formant la première et/ou la deuxième jambe est inférieure à 10% ;

- l'élément d'interconnexion comporte une phase de $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$.

Selon un autre aspect, l'invention propose également un dispositif de mesure pour turbomachine comportant un capteur et une unité d'alimentation configurée pour alimenter en énergie ledit capteur, dans lequel le module d'alimentation est un module selon l'invention.

Selon un autre aspect encore, l'invention propose un procédé de fabrication d'une cellule thermoélectrique selon l'invention comprenant les étapes de :

- S1 : Elaboration de phases de $\text{MnSi}_{1,7}$ et de FeSi_2 par fusion ou frittage ;

- S2 : Elaboration de phases de TiMnSi_2 , TiFeSi_2 par un procédé de fusion ou de frittage ;

- S3 : Mise en contact de la phase de $\text{MnSi}_{1,7}$ avec la phase de TiMnSi_2 , de la phase de TiMnSi_2 avec la phase de TiFeSi_2 , et de la phase de TiFeSi_2 avec la phase de FeSi_2 ;

- S4 : Pressage à chaud ou frittage flash de l'ensemble de manière à densifier et solidariser les différents éléments.

Selon un autre aspect, l'invention propose un procédé de fabrication d'une cellule thermoélectrique selon l'invention, comprenant les étapes de :

- S1 : Elaboration de phases de $\text{MnSi}_{1,7}$ et de FeSi_2 par fusion ou frittage ;

- S2' : Elaboration d'une phase de $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$ par un procédé de fusion ou de frittage ;

- S3' : Mise en contact de la phase de $\text{MnSi}_{1,7}$ avec la phase de $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$, de la phase de $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$ avec la phase de FeSi_2 ;

- S4 : Pressage à chaud ou frittage flash de l'ensemble de manière à densifier et solidariser les différents éléments.

Selon un autre aspect, l'invention propose une turbomachine
5 comportant un dispositif de mesure embarqué comportant un module d'alimentation thermoélectrique selon l'invention.

PRÉSENTATION DES FIGURES

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront encore de la description qui suit, laquelle est purement illustrative et non
10 limitative, et doit être lue en regard des figures annexées sur lesquelles :

- la figure 1 est une représentation schématique d'une cellule thermoélectrique selon l'art antérieur ;
- la figure 2 est une représentation schématique d'un dispositif de mesure selon l'invention ;
- 15 - la figure 3 est une représentation schématique des étapes d'un procédé de fabrication d'une cellule thermoélectrique selon l'invention.

DESCRIPTION D'UN OU PLUSIEURS MODES DE MISE EN ŒUVRE ET DE RÉALISATION

Généralités

20

Un dispositif de mesure embarqué pour turbomachine, tel qu'illustré en figure 2, comporte un capteur 6 et une unité d'alimentation 7 configurée pour alimenter en énergie le capteur 6.

Le capteur 6 peut être un capteur de température, de contraintes, de
25 pression, ou tout autre type de capteur.

L'unité d'alimentation 7 comporte un module d'alimentation thermoélectrique 8 comportant :

- deux plaques support 12 sensiblement parallèles,
- une première jambe 9 de type n s'étendant d'une plaque 12 à l'autre
30 plaque 12,

- une deuxième jambe 10 de type p s'étendant d'une plaque 12 à l'autre plaque 12, et

- un élément d'interconnexion 11 connecté d'une part à la première jambe 9 et d'autre part à la deuxième jambe 10.

5 La première jambe 9 comporte une phase d'un alliage de Fer et de Silicium.

La deuxième jambe 10 comporte une phase d'un alliage de Manganèse et de Silicium.

10 L'élément d'interconnexion 11 comporte une solution solide comportant du Manganèse, du Fer et du Silicium.

Le module d'alimentation thermoélectrique 8 comporte une pluralité de premières jambes 9 de type n de deuxièmes jambes 10 de type p, une pluralité d'éléments d'interconnexion 11 étant chacun connectés d'une part à une première jambe 9 et d'autre part à une deuxième jambe 10.

15 Les éléments d'interconnexion 11 sont maintenus au contact de plaques 12, une plaque 12 étant au contact des éléments d'interconnexion 11 faisant liaison d'une première jambe 9 à une deuxième jambe 10 dans le sens de circulation du courant, l'autre plaque 12 étant au contact des éléments d'interconnexion 11 faisant liaison d'une deuxième jambe 10 à
20 une première jambe 9 dans le sens de circulation du courant.

Ainsi, les jambes de type n et les jambes de type p sont disposées de manière alternée, et connectées de manière à former un circuit en série afin d'ajouter la différence de potentiel générée par chaque couple jambe n/jambe p.

25 Les bornes du circuit ainsi formées sont connectées aux bornes du capteur 6, permettant ainsi d'alimenter le capteur 6 en énergie lorsque le module d'alimentation thermoélectrique 8 est soumis à un gradient de température.

30 Une plaque 12 peut être placée au contact d'un corps ou un milieu chaud dans la turbomachine, l'autre plaque étant au contact d'un corps ou un milieu moins chaud, de manière à générer une différence de potentiel

entre les bornes du module d'alimentation thermoélectrique 8 sous l'effet du différentiel de température entre les plaques 12.

Avantageusement, les plaques 12 sont réalisées en matériau conducteur thermique et non conducteur électrique, de manière à
5 homogénéiser le gradient de température auquel est soumis chaque jambe tout en évitant d'uniformiser le potentiel électrique des différents éléments d'interconnexion 4 en contact avec la même plaque.

Les compositions de la première jambe 9, la deuxième jambe 10 et l'élément d'interconnexion 11 permettent notamment de favoriser la
10 cohésion et la compatibilité chimique entre la première 9 et deuxième 10 jambes et l'élément d'interconnexion 11, ce qui permet d'éviter la formation de phases secondaires non désirées aux zones d'interface entre :

- la première 9 et l'élément d'interconnexion 11, et
- la deuxième 10 jambe et l'élément d'interconnexion 11.

15 Cela permet notamment ne pas former de phases secondaires qui modifieraient la conductivité électrique, thermique ou le coefficient Seebeck des matériaux.

L'utilisation d'alliages comportant du Silicium permet en outre de former des oxydes stables même lorsqu'ils sont exposés à des températures
20 élevées, par exemple une couche de silice qui formerait une protection en surface de la première jambe 9, la deuxième jambe 10 et l'élément d'interconnexion 11.

Les matériaux choisis présentent également l'avantage d'éviter une dépendance à des matériaux rares ou stratégiques, en limitant leur
25 utilisation.

L'élément d'interconnexion

Dans un mode de réalisation, l'élément d'interconnexion 11 peut comporter une phase de TiMnSi_2 et une phase de TiFeSi_2 .

30 L'utilisation de telles phases permet d'assurer la compatibilité chimique entre la première 9 et deuxième 10 jambes et l'élément d'interconnexion 11, ce qui permet d'éviter la formation de composés

secondaires et ainsi de préserver les caractéristiques physiques des matériaux.

Ces phases présentent également une bonne capacité à générer des oxydes protecteurs, notamment de la silice.

5 Les phases de TiMnSi_2 et de TiFeSi_2 présentent des coefficients de dilatation thermique proches des matériaux de jambe, ce qui permet de limiter l'apparition de contraintes internes dans l'élément d'interconnexion 11 lorsqu'il monte ou descend en température, permettant de favoriser la cohérence mécanique du module.

10 Dans un mode de réalisation, l'élément d'interconnexion 11 peut comporter une première zone 111 en contact avec la première jambe 9 et une deuxième zone 112 en contact avec la deuxième jambe 10, dans lequel la première zone 111 comporte du TiFeSi_2 et la deuxième zone 112 comporte du TiMnSi_2 .

15 Cela permet d'améliorer la cohésion et la compatibilité chimique entre la première jambe 9 et l'élément d'interconnexion 11 et entre la deuxième jambe 10 et l'élément d'interconnexion.

Avantageusement, la proportion volumique en phases de TiMnSi_2 et TiFeSi_2 dans la microstructure est supérieure à 94%.

20 Cela permet notamment, lors du procédé de fabrication, d'éviter des phénomènes de contraintes internes pouvant conduire à la fissuration du matériau.

En variante, l'élément d'interconnexion comporte une phase de $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$.

25 L'utilisation d'une telle phase permet d'assurer la compatibilité chimique entre la première 9 et deuxième 10 jambes et l'élément d'interconnexion 11, ce qui permet d'éviter la formation de composés secondaires et ainsi de préserver les caractéristiques physiques des matériaux.

30 Cette phase présente également une bonne capacité à générer des oxydes protecteurs, notamment de la silice.

L'avantage d'utiliser une phase principale de $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$ est d'optimiser l'homogénéité des caractéristiques physiques de l'élément

d'interconnexion 11, de manière à limiter l'apparition de contraintes internes.

Avantageusement, la proportion volumique en phase de $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$ dans la microstructure est supérieure à 94%.

5 Cela permet notamment, lors du procédé de fabrication, d'éviter des phénomènes de contraintes internes pouvant conduire à la fissuration du matériau.

10 Les jambes

Dans un mode de réalisation, la première jambe 9 peut comporter une phase de FeSi_2 , et la deuxième jambe 10 comporte une phase de $\text{MnSi}_{1,7}$.

Ces composés ont des coefficients de dilatation thermique proches
15 l'un de l'autre, ce qui permet de limiter les risques de délaminage aux interfaces. En outre, leurs coefficients de dilatation thermique sont proches des coefficients de dilatation thermique du TiMnSi_2 , du TiFeSi_2 , et du $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$. Cela permet de limiter l'apparition de contraintes au niveau des zones d'interfaces entre les jambes 9, 10 et l'élément d'interconnexion.

20 En outre, les phases de FeSi_2 et de $\text{MnSi}_{1,7}$ présentent une capacité à générer une couche d'oxyde protectrice, et ne forment pas de phases secondaires aux interfaces avec le TiMnSi_2 , le TiFeSi_2 , ou le $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$.

Optionnellement, la première jambe 9 et/ou la deuxième jambe 10 peut comporter des éléments de dopage, ajoutés pour améliorer les
25 propriétés thermoélectriques des matériaux les constituant.

Les éléments de dopage peuvent être choisis parmi :

- les métaux, par exemple l'Aluminium,
- les métaux de transition, par exemple le Chrome, le Cobalt,
- les métalloïdes, comme le Germanium, le Bore, l'Antimoine, le
30 Tellure,
- les non-métaux, comme le Phosphore, le Carbone, l'Azote, le Fluor, le Soufre.

Dans un mode de réalisation, les matériaux constituant la première jambe 9 (respectivement la deuxième jambe 10) peuvent comporter une proportion volumique supérieure à 90% de FeSi_2 (respectivement de $\text{MnSi}_{1,7}$) et une proportion volumique d'oxydes dispersés dans le massif (silice, oxydes provenant d'éléments de dopage, ...) inférieure ou égale à 10%.

Ce rapport de proportions permet notamment d'éviter la formation de phases néfastes pour les propriétés du matériau. La proportion d'oxyde dans le massif permet de modifier la conductivité thermique des jambes et d'optimiser les performances thermoélectriques de chacune d'elles.

Avantageusement, les matériaux constituant la première jambe 9 (respectivement la deuxième jambe 10) présentent une proportion de phases riches en Silicium inférieure à 10% du volume total.

Il est entendu par phase riche en Silicium une phase dans laquelle la concentration atomique en Silicium est supérieure à 70%.

Ce rapport de proportion permet de modifier les propriétés de conduction électrique des jambes et ainsi d'en optimiser les performances thermoélectriques.

Procédé de fabrication

Un module d'alimentation thermoélectrique 8 peut être fabriqué par un procédé comportant les étapes suivantes :

S1 : Elaborer des phases de $\text{MnSi}_{1,7}$ et de FeSi_2 par un procédé de fusion ou de métallurgie des poudres, par exemple du frittage ou du frittage flash.

Dans un mode de réalisation, des poudres métalliques sont disposées dans un moule puis chauffées jusqu'au point de fusion d'au moins un des différents éléments en présence.

En variante, les poudres peuvent être compressées et chauffées à une température proche de leur point de fusion, de manière à solidariser les grains de poudre entre eux.

A la place du chauffage, un courant peut être injecté à travers les poudres, de manière à générer des arcs provoquant un chauffage local des grains de poudre amenant à solidariser les grains de poudre entre eux.

Optionnellement, des éléments dopants peuvent être ajoutés pour
5 améliorer les propriétés thermoélectriques de ces phases.

Les matériaux obtenus seront dénommés respectivement MS et FS par la suite.

S2 : Elaborer les phases TiMnSi_2 , TiFeSi_2 par un procédé de fusion ou de métallurgie des poudres, par exemple du frittage ou du frittage flash.

10 Dans un mode de réalisation, au cours d'une étape S2' on élabore une phase de $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$ par un procédé de fusion ou de métallurgie des poudres, par exemple du frittage ou du frittage flash.

S3 : Mettre en contact les différentes phases que ce soit sous forme solide, poudre, ou une combinaison des deux suivant les séquences
15 suivantes : $\text{MS}/\text{TiMnSi}_2/\text{TiFeSi}_2/\text{FS}$.

La phase de $\text{MnSi}_{1,7}$ est ainsi mise en contact avec la phase de TiMnSi_2 , la phase de TiMnSi_2 avec la phase de TiFeSi_2 , et la phase de TiFeSi_2 avec la phase de FeSi_2 .

Dans un autre mode de réalisation, au cours d'une étape S3', la phase
20 de $\text{MnSi}_{1,7}$ est mise en contact avec la phase de $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$, et la phase de $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$ avec la phase de FeSi_2 .

S4 : Réaliser la jonction et/ou densification des différents éléments en une étape par pressage à chaud ou par frittage flash.

Les caractéristiques en tout point du module des microstructures
25 obtenues sont les suivantes :

- Pour les matériaux interconnecteurs ($\text{TiMnSi}_2/\text{TiFeSi}_2/\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$) :
 - Densité relative >94%
 - Proportion volumique des phases TiMnSi_2 , TiFeSi_2 , $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$ dans la microstructure >94 vol%
- 30 • Pour les matériaux MS et FS :
 - Densité relative >90%
 - Proportion volumique des phases MS et FS dans la microstructure >90 vol%

- Proportion volumique d'oxydes (Al_2O_3 , Cr_2O_3 , MnO , MgO , SiO_2 , ...) ≤ 10 vol%
 - Proportion volumique de phases riches en Si (composition en Si > 70 at%) ≤ 10 vol% total.
- 5 Avantageusement, des traitements thermiques ultérieurs peuvent être réalisés, ainsi que des phases d'usinage et des opérations de contrôle non-destructif, de manière à assurer la qualité du produit.

REVENDEICATIONS

1. Module d'alimentation thermoélectrique (8) pour dispositif de mesure embarqué ou destiné à être embarqué sur une turbomachine, le module d'alimentation thermoélectrique (8) comportant deux plaques support (12) sensiblement parallèles, une première jambe (9) de type n s'étendant d'une plaque (12) à l'autre plaque (12), une deuxième jambe (10) de type p s'étendant d'une plaque (12) à l'autre plaque (12), et un élément d'interconnexion (11) connecté d'une part à la première jambe (9) et d'autre part à la deuxième jambe (10), dans lequel :
- la première jambe (9) comporte une phase d'un alliage de Fer et de Silicium,
 - la deuxième jambe (10) comporte une phase d'un alliage de Manganèse et de Silicium,
 - l'élément d'interconnexion (11) comporte une solution solide comportant du Manganèse, du Fer et du Silicium.
2. Module selon la revendication 1, dans lequel l'élément d'interconnexion (11) comporte une phase de TiMnSi_2 et une phase de TiFeSi_2 .
3. Module selon une des revendications 1 à 2, dans lequel l'élément d'interconnexion (11) comporte une première zone (111) en contact avec la première jambe (9) et une deuxième zone (112) en contact avec la deuxième jambe (10), dans lequel la première zone (111) comporte du TiFeSi_2 et la deuxième zone (112) comporte du TiMnSi_2 .
4. Module selon une des revendications 1 à 3, dans lequel la première jambe (9) comporte une phase de FeSi_2 , et la deuxième jambe (10) comporte une phase de $\text{MnSi}_{1,7}$.

5. Module selon une des revendications 1 à 4, dans lequel la première (9) et/ou la deuxième (10) jambe comporte un élément de dopage choisi parmi l'Aluminium, le Chrome, le Cobalt, le Germanium, le Bore, l'Antimoine, le Tellure, le Phosphore, le Carbone, l'Azote, le Fluor, le Soufre, ou une combinaison de ceux-ci.
6. Module selon la revendication 5, dans lequel la proportion massique d'éléments de dopage dans le matériau formant la première (9) et/ou la deuxième (10) jambe est inférieure à 10%.
7. Module selon l'une des revendications 1 et 4 à 6, dans lequel l'élément d'interconnexion (11) comporte une phase de $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$.
8. Dispositif de mesure pour turbomachine comportant un capteur (6) et une unité d'alimentation (7) configurée pour alimenter en énergie ledit capteur (6), caractérisé en ce que l'unité d'alimentation (7) comporte un module d'alimentation (8) selon l'une des revendications 1 à 7.
9. Procédé de fabrication d'un module d'alimentation thermoélectrique (8) selon une des revendications 1 à 6 comprenant les étapes de :
- S1 : Elaboration de phases de $\text{MnSi}_{1,7}$ et de FeSi_2 par fusion ou frittage ;
 - S2 : Elaboration de phases de TiMnSi_2 , TiFeSi_2 par un procédé de fusion ou de frittage ;
 - S3 : Mise en contact de la phase de $\text{MnSi}_{1,7}$ avec la phase de TiMnSi_2 , de la phase de TiMnSi_2 avec la phase de TiFeSi_2 , et de la phase de TiFeSi_2 avec la phase de FeSi_2 ;
 - S4 : Pressage à chaud ou frittage flash de l'ensemble de manière à densifier et solidariser les différents éléments.
10. Procédé de fabrication d'un module d'alimentation thermoélectrique (8) selon la revendication 7, comprenant les étapes de :

- S1 : Elaboration de phases de $\text{MnSi}_{1,7}$ et de FeSi_2 par fusion ou frittage ;
 - S2' : Elaboration d'une phase de $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$ par un procédé de fusion ou de frittage ;
 - 5 - S3' : Mise en contact de la phase de $\text{MnSi}_{1,7}$ avec la phase de $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$, de la phase de $\text{Mn}_{0,5}\text{Fe}_{0,5}\text{Si}$ avec la phase de FeSi_2 ;
 - S4 : Pressage à chaud ou frittage flash de l'ensemble de manière à densifier et solidariser les différents éléments.
11. Turbomachine comportant un dispositif de mesure embarqué
- 10 comportant un module d'alimentation thermoélectrique (8) selon une des revendications 1 à 7.

FIG. 1

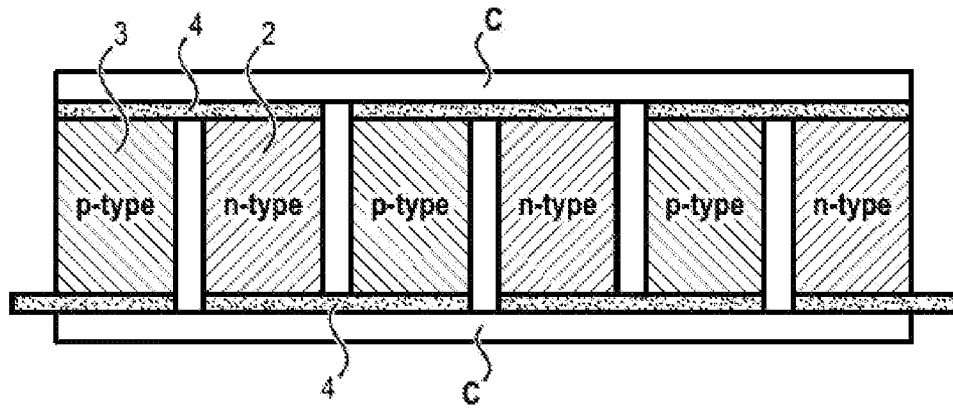


FIG. 2

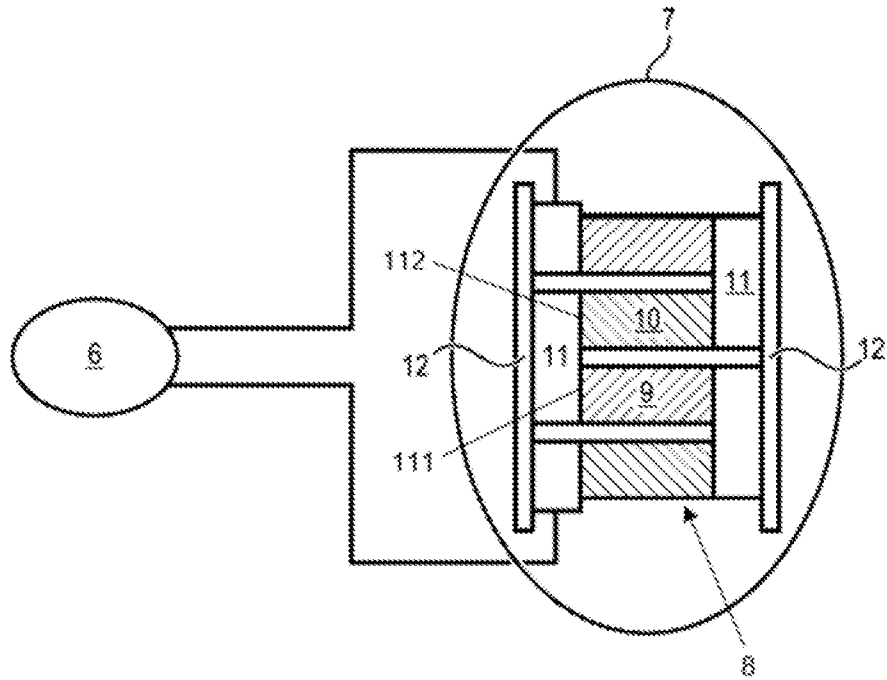
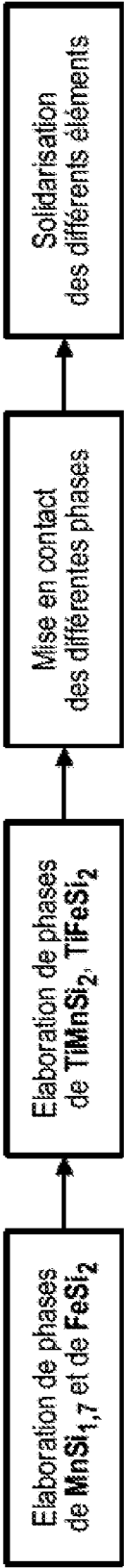


FIG. 3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/FR2020/050321

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**H02J 50/00**(2016.01)i; **F02C 7/00**(2006.01)i; **H01L 35/34**(2006.01)i; **H01L 35/22**(2006.01)i; **B64D 41/00**(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F02C; H02J; H01L; B64D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2010108958 A (KYOCERA CORP) 13 May 2010 (2010-05-13) paragraphs [0021], [0023], [0033], [0034], [0052], [0053]; figures 1-2	1,4-8,10,11 2,3,9
A	JP 2012238399 A (GS YUASA CORP) 06 December 2012 (2012-12-06) paragraph [0010]	2,3,9



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 May 2020

Date of mailing of the international search report

25 May 2020

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Bourdon, Jérémy

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/FR2020/050321

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
JP	2010108958	A	13 May 2010	JP	2010108958	A	13 May 2010
				WO	2010050455	A1	06 May 2010
JP	2012238399	A	06 December 2012	NONE			

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2020/050321

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. H02J50/00 F02C7/00 H01L35/34 H01L35/22 B64D41/00 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) F02C H02J H01L B64D		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X A A	JP 2010 108958 A (KYOCERA CORP) 13 mai 2010 (2010-05-13) alinéas [0021], [0023], [0033], [0034], [0052], [0053]; figures 1-2 ----- JP 2012 238399 A (GS YUASA CORP) 6 décembre 2012 (2012-12-06) alinéa [0010] -----	1,4-8, 10,11 2,3,9 2,3,9
☐ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 12 mai 2020	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 25/05/2020	
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Fonctionnaire autorisé Bourdon, Jérémy	

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2020/050321

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 2010108958 A	13-05-2010	JP 2010108958 A WO 2010050455 A1	13-05-2010 06-05-2010
JP 2012238399 A	06-12-2012	AUCUN	