(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
20 janvier 2011 (20.01.2011)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2011/006975 A1

(51) Classification internationale des brevets : *H01L 21/66* (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale : PCT/EP2010/060248

(22) Date de dépôt international : 15 juillet 2010 (15.07.2010)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
09 54887 15 juillet 2009 (15.07.2009) FR

(71) Déposant *(pour tous les États désignés sauf US)* : **Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives** [FR/FR]; 25 rue Leblanc, Bâtiment "Le Ponant D", F-75015 Paris (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants *(pour US seulement)* : **KOFFEL, Stéphane** [FR/FR]; 67 rue de Stalingrad, F-38100 Grenoble (FR). **CLAVERIE, Alain** [FR/FR]; rue En Pascot, F-31290 Lagarde (FR). **SCHEIBLIN, Pascal** [FR/FR]; 2 impasse des Fleurs, F-38320 Eybens (FR).

(74) Mandataire : **ILGART, Jean-Christophe**; Brevalex, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

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

(54) **Title** : METHOD FOR CALIBRATING AN ANNEALING FURNACE AND GERMANIUM RECRYSTALLIZATION USING SUCH A METHOD

(54) **Titre** : PROCEDE D'ETALONNAGE D'UN FOUR DE RECUIT ET RECRISTALLISATION DE GERMANIUM UTILISANT UN TEL PROCEDE

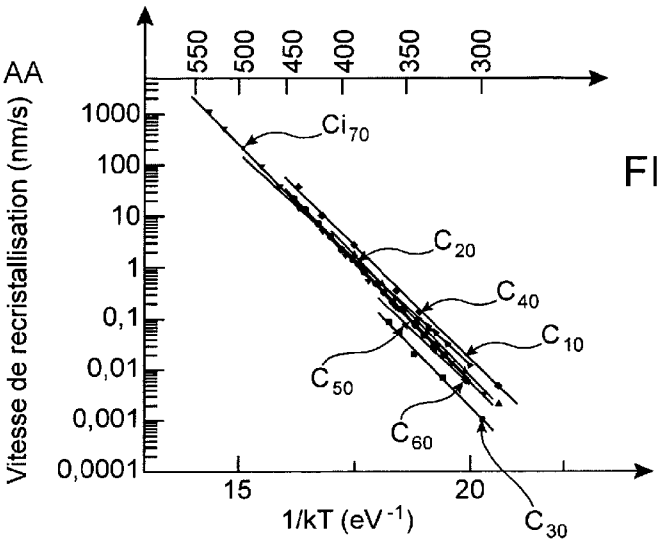


FIG.2

AA Recrystallization rate (nm/s)

(57) **Abstract** : The invention relates to a method for calibrating an annealing furnace for a semiconductor device, including the steps of: a) crystallizing a given thickness of a layer of an amorphous semiconductor material in said furnace by annealing; b) determining the crystallized thickness and the crystallization rate V of said layer of semiconductor material; c) determining, on the basis of the crystallized thickness and of the crystallization rate V determined in step b), the parameter VO of the equation $V = V_0 * \exp(-Ea/kT)$, Ea being an Arrhenius activation energy constant, k the Boltzmann constant, and T the crystallization annealing temperature in step a).

(57) **Abrégé** : L' invention concerne un procédé d'étalonnage d'un four de recuit pour dispositif à semi-conducteur comprenant les étapes de : a) cristallisation par recuit dans ledit four d'une épaisseur donnée d'une couche de matériau semi-conducteur amorphe, b) détermination de l' épaisseur cristallisée et de la vitesse de cristallisation V de ladite couche de matériau semi-conducteur, c) détermination en fonction de l'épaisseur cristallisée et de la V la vitesse de cristallisation déterminée à l'étape b), du paramètre VO de la relation $V = V_0 * \exp(-Ea/kT)$, Ea une constante d'énergie d' activation d'Arrhenius, k la constante de Boltzmann, T la température de recuit de cristallisation à l'étape a).

WO 2011/006975 A1

PROCEDE D'ETALONNAGE D'UN FOUR DE RECUIT ET RECRISTALLISATION DE GERMANIUM UTILISANT UN TEL PROCEDE

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE ET ART ANTÉRIEUR

La présente invention concerne le domaine des dispositifs à matériau semi-conducteur, et notamment celui de la microélectronique et des micro- ou/et nano-technologies.

L'invention concerne en particulier un procédé d'étalonnage d'un four pour recuit de matériau semi-conducteur, ainsi qu'un procédé de cristallisation ou de recristallisation d'une couche de matériau semi-conducteur à l'aide d'un four étalonné à l'aide dudit procédé d'étalonnage.

L'invention s'applique en particulier à la recristallisation du Germanium et apporte des améliorations en termes de précision de la durée nécessaire à cette recristallisation et/ou de précision de l'épaisseur recristallisée.

ETAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

Dans le domaine de la microélectronique, lorsqu'on cherche à mettre en œuvre un composant électronique à partir d'un substrat, ou d'une zone, à base de Germanium, il peut s'avérer nécessaire de doper cette zone ou ce substrat.

Pour cela, un dopage par implantation ionique de Germanium cristallin peut être réalisé.

Une telle implantation a pour conséquence d'endommager la structure cristalline du matériau semi-conducteur et de former une couche de matériau amorphe.

Une étape de recristallisation peut être alors effectuée pour redonner au matériau sa structure cristalline, tel que cela est indiqué dans le document « Implantation, diffusion et activation des dopants dans le Germanium », thèse de Stéphane Koffel de Novembre 2008.

La recristallisation peut être réalisée par recuit dans un four, selon une durée et une température adéquates, qui dépendent de l'épaisseur de matériau amorphe que l'on souhaite cristalliser.

L'ajustement de cette durée doit être réalisé de manière précise dans la mesure où si la durée de recuit est trop courte, le matériau n'est pas recristallisé entièrement, tandis que si la durée de recuit est trop longue, le recuit peut entrainer une diffusion intempestive des dopants, c'est-à-dire une diffusion des dopants dans des zones non désirées.

Pour déduire la durée de recuit et la température nécessaires pour effectuer un recuit sur une couche d'épaisseur donnée, il est possible d'utiliser des données de référence indiquant, pour une température donnée, la durée nécessaire pour effectuer cette recristallisation. Cependant, d'une publication à l'autre, ces données peuvent changer.

Par ailleurs, d'un four à l'autre la durée nécessaire au recuit peut changer. Il peut donc s'avérer nécessaire d'étalonner préalablement le four de recuit en effectuant différentes mesures

d'épaisseurs de matériau semi-conducteur cristallisé pour différents couples : durée de recuit-température de recuit. Une telle méthode est longue et coûteuse à mettre en œuvre.

Il se pose le problème de trouver un nouveau procédé de recristallisation d'une couche semi-conductrice, qui ne présente pas les inconvénients mentionnés ci-dessus.

EXPOSE DE L'INVENTION

L'invention concerne tout d'abord un procédé d'étalonnage d'un four de recuit pour dispositif à semi-conducteur comprenant les étapes de :

a) cristallisation par recuit dans ledit four d'une épaisseur donnée d'une couche de matériau semi-conducteur donné amorphe,

b) détermination de l'épaisseur cristallisée puis de la vitesse V1 de cristallisation effectuée à l'étape a),

c) détermination en fonction de la vitesse de cristallisation V1 déterminée à l'étape b), du paramètre V_{01} de la relation $V1 = V_{01} * \exp(-Ea/kT_1)$, Ea une constante d'énergie d'activation d'Arrhenius, k la constante de Boltzmann, T1 la température de recuit de cristallisation à l'étape a).

La couche de matériau semi-conducteur peut avoir été rendue amorphe, préalablement à l'étape a), par implantation de dopants dans ledit matériau semi-conducteur.

Le matériau semi-conducteur peut être du Germanium ou du silicium.

Le matériau semi-conducteur ayant été implanté préalablement à l'étape a) peut être du Germanium monocristallin orienté < 100 >.

Le paramètre V_{01} est un paramètre caractéristique du four de recuit utilisé.

A l'aide de cet étalonnage, obtenu pour une épaisseur prédéterminée de matériau semi-conducteur donné à cristalliser ou à recristalliser, on peut utiliser ensuite le paramètre V_{01} que l'on a ainsi déterminé pour évaluer la durée du recuit nécessaire pour effectuer une recristallisation d'une épaisseur quelconque du même matériau.

Cette évaluation tient ainsi compte de la spécificité du four de recuit utilisé, et permet d'obtenir une précision améliorée de l'épaisseur recristallisée.

Un tel étalonnage ne nécessite pas d'effectuer de nombreuses mesures.

Le recuit effectué à l'étape a) peut avoir une durée et une température déterminées à l'aide d'une loi d'Arrhenius de référence.

L'invention concerne également un procédé de réalisation d'un dispositif à semi-conducteur comprenant au moins une étape de cristallisation ou de re-cristallisation, par recuit dans un four étalonné à l'aide d'un procédé d'étalonnage tel que défini précédemment, le recuit étant effectué sur autre couche à base dudit matériau semi-conducteur amorphe, selon une durée et une température prédéterminées à l'aide du paramètre V_{01}.

L'invention concerne également un procédé d'étalonnage de four(s) de recuit pour dispositif à semi-conducteur comprenant :

- l'étalonnage d'un premier four de recuit à l'aide d'un procédé tel que défini précédemment,
- l'étalonnage d'un deuxième four de recuit par :
  - recuit de cristallisation dans ledit deuxième four d'une épaisseur d'une deuxième couche dudit matériau semi-conducteur donné amorphe,
  - détermination de la vitesse V2 de cristallisation correspondante de la deuxième couche dudit matériau semi-conducteur donné,
  - détermination du paramètre V_{02} de la relation $V2(T) = V_{02} * \exp(-Ea/kT_2)$, Ea une constante d'énergie d'activation d'Arrhenius, k la constante de Boltzmann, avec T_2 la température de recuit de cristallisation de ladite deuxième couche,
  - détermination du paramètre $\Delta(1/T) = 1/T_1 - 1/T_2$ pour lequel $V1(T_1) = V2(T_2)$.

L'invention concerne également un procédé de réalisation d'un dispositif à semi-conducteur comprenant au moins une étape de cristallisation ou de recristallisation, par recuit, dans ledit deuxième four étalonné à l'aide d'un tel procédé, d'une épaisseur ei dudit matériau semi-conducteur. La température du deuxième four dépendra notamment du paramètre $\Delta(1/T)$ précédemment déterminé.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation

données, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- les figures 1A-1B illustrent un exemple de procédé suivant l'invention,
- la figure 2 donne différentes courbes d'Arrhenius de référence représentatives de la vitesse de recristallisation du Germanium en fonction de la température,
- la figure 3 donne des exemples de courbes d'Arrhenius obtenues respectivement avec un premier de four de recuit et un deuxième four de recuit pour dispositif à semi-conducteur.
- les figures 4A et 4B représentent schématiquement des dispositifs pour mettre en oeuvre des procédés selon l'invention.

Des parties identiques, similaires ou équivalentes des différentes figures portent les mêmes références numériques de façon à faciliter le passage d'une figure à l'autre.

Les différentes parties représentées sur les figures ne le sont pas nécessairement selon une échelle uniforme, pour rendre les figures plus lisibles.

EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Un exemple de procédé d'étalonnage d'un four prévu en particulier pour effectuer des recuits pour des dispositifs à semi-conducteur, notamment des recuits de cristallisation ou de recristallisation, ainsi qu'un procédé de recristallisation d'un matériau

semi-conducteur utilisant un four étalonné à l'aide dudit procédé, vont à présent être décrits.

On réalise tout d'abord une implantation ionique d'une couche 11 à base de matériau semi-conducteur 9 cristallin.

Cette couche 11 peut reposer sur un substrat 10. Le matériau semi-conducteur 9 peut être du Ge, par exemple du Ge monocristallin.

L'implantation est réalisée de manière à rendre amorphe au moins une épaisseur du matériau semi-conducteur 9 de la couche 11. Avec une réalisée par exemple selon une énergie de l'ordre de 150 keV et une dose de $10^{15}cm^{-2}$, on peut rendre amorphe une épaisseur par exemple de l'ordre de 150 nm du matériau semi-conducteur 9 de la couche 11.

Ensuite, on effectue une séparation du substrat en plusieurs morceaux. La découpe du substrat peut être réalisée par exemple dans une direction orthogonale au plan principal de ce dernier (indiquée sur la figure 1B par une ligne discontinue), de manière à obtenir plusieurs échantillons, par exemple deux échantillons E1, E2 de la couche 11 reposant sur ce dernier.

Sur un premier échantillon E1, on peut effectuer une mesure d'une épaisseur de la couche 11 de matériau semi-conducteur qui a été rendue amorphe par l'implantation ionique. Ce premier échantillon E1 peut jouer le rôle d'échantillon de référence.

Cette épaisseur peut être réalisée par exemple à l'aide d'un dispositif de mesure MET (« MET »

pour « microscope électronique à transmission », en anglais TEM pour « Transmission Electron Microscopy »).

On détermine ensuite, à l'aide d'une fonction de référence appelée loi de référence, qui peut être de type loi d'Arrhenius, suivant la forme $V'(T) = V'0 * \exp(-E_a/kT)$ (avec Ea l'énergie d'activation d'Arrhenius, k la constante de Boltzmann, T la température de recuit) et qui est choisie en fonction du matériau semi-conducteur 9 considéré, une durée de recuit et une température de recuit pour recristalliser une portion déterminée de l'épaisseur de la couche 11 rendue amorphe.

La portion déterminée peut être par exemple comprise entre les 2/3, et les 3/4, de l'épaisseur globale de la couche 11.

Dans le cas, par exemple, où le matériau semi-conducteur 9 est du germanium, la loi d'Arrhenius servant de référence peut être par exemple issue, ou être formée à partir d'une loi telle que donnée dans le document de Csepregi et al : « *Regrowth kinetics of amorphous Ge layers created by Ge and Si implantation of Ge crystals* », L. CSEPREGI, R. P. KULLEN et J. MAYER, Solid State Communications, 21, p.1019-1021, 1977, une représentation graphique C_{10} de cette loi de référence étant représentée par exemple sur la figure 2.

Une autre loi d'Arrhenius de référence, issue, ou formée à partir d'une loi issue du document de Donovan et al. : « Calorimetrie studies of crystallization and relaxation of amorphous Si and Ge prepared by ion implantation », E. P. DONOVAN, F. S PAEPEN, D. TURNBULL, J. M. POATE et D. C. JACOBSON,

Journal of Applied Physics, 57(6), pp. 1795-1804, 1984, peut être également utilisée. Une représentation graphique C_{20} de cette autre loi de référence est représentée sur la figure 2.

Selon un autre exemple, la loi d'Arrhenius de référence peut être issue du document de Lu et al. : « Pressure-enhanced crystallization kinetics of amorphous Si and Ge : Implications for point-defect mechanisms », G-Q. LU, E. NYGREN et M. J. AZIZ, Journal of Applied Physics, 70, pp. 5323, 1991, une représentation graphique C_{30} de ce troisième exemple de loi de référence étant donnée sur la figure 2.

Selon une autre possibilité, la loi d'Arrhenius de référence peut être issue par exemple du document de Kringhoj et al. « Solid-Phase Epitaxial Crystallization of Strain-Relaxed $Si_{1-x}Ge_x$ Alloy Layers », P. KRINGHOJ et R. G ELLIMAN, Physical Review B, 73, pp. 858-861, 1994, une représentation graphique C_{40} de ce quatrième exemple de loi de référence étant donnée sur la figure 2.

La loi d'Arrhenius de référence peut être, selon un autre exemple, issue du document de Haynes et al.: « Composition dependence of solid-phase epitaxy in silicon-germanium alloys : Experiment and theory », T. E. HAYNES, M. J. ANTONELL, C. A. LEE et K. S. JONES, Physical Review B, 51, pp. 7762-7771, 1995, une représentation graphique C_{50} de ce cinquième exemple de loi de référence étant donnée sur la figure 2.

La loi d'Arrhenius de référence peut être, selon un autre exemple, issue du document de Koffel et al., proceedings of 214th ECS meeting, 2008, une

représentation graphique C_{60} de cet exemple de loi de référence étant donnée sur la figure 2.

Selon une autre possibilité, la loi d'Arrhenius de référence peut être issue par exemple du document de Johnson et al : « Intrinsic and dopant enhanced solid-phase epitaxy in amorphous germanium », B. C. JOHNSON, P. GORTMAKER et J. C. MCCALLUM, Physical Review B, 77, pp. 214109, 2008, une représentation graphique C_{70} de cette loi de référence étant donnée sur la figure 2.

Ces lois de référence illustrées sur la figure 2 montrent que l'énergie d'activation de la recristallisation (pente des droites) peut être considérée comme constante. La dispersion des courbes est attribuée à la dispersion des bilans thermiques réels des différents équipements de recuit.

Une fois la durée de recuit et la température de recuit évaluées pour recristalliser la portion déterminée de l'épaisseur de la couche 11 rendue amorphe, on effectue ensuite sur le deuxième échantillon E2, un recuit, selon les paramètres de durée et de température qui viennent d'être définis.

Sur le deuxième échantillon E2, on effectue ensuite également une mesure de l'épaisseur de la couche 11 qui est encore amorphe après le recuit.

A partir de cette mesure d'épaisseur effectuée sur le deuxième échantillon E_2, et de la durée de recristallisation, on déduit la vitesse de recristallisation V1.

On en déduit ensuite un paramètre V_{01}, caractéristique du four qui a été utilisé pour effectuer le recuit sur le deuxième échantillon E2.

Ce paramètre V_{01} est un terme de la relation $V1(T_1) = V_{01} * \exp(-Ea/kT)$, avec V1 la vitesse de recristallisation, E_a l'énergie d'activation de la recristallisation choisie préalablement, T1 la température de recuit.

Ultérieurement, on peut prédire, à l'aide du paramètre V_{01}, des couples : [durée de recuit ; température de consigne pour ce recuit], pour toute épaisseur donnée du matériau semi-conducteur 9 à re-cristalliser ou à re-cristalliser dans le four dans lequel on a effectué l'étalonnage à l'aide des échantillons E1 et E2.

Le paramètre V_{01} est spécifique au four de recuit utilisé.

Si l'on souhaite effectuer dans un autre four de recuit, une recristallisation d'une couche à base du même matériau semi-conducteur que l'échantillon E2, un autre étalonnage dudit autre four est réalisé.

On peut réaliser cet autre étalonnage en déterminant la vitesse de cristallisation V2 d'une deuxième couche dudit matériau semi-conducteur, puis en déterminant le paramètre V_{02} de la relation $V2(T_2) = V_{02} * \exp(-Ea/kT_2)$, spécifique à cet autre four, avec T_2 la température de recuit.

On peut ensuite déterminer $\Delta(1/T)$, avec $\Delta(1/T) = (1/T1)-(1/T2)$ pour laquelle $V1(T1) = V2(T2)$, ce qui permet par exemple, si l'on souhaite recristalliser une certaine épaisseur ei de matériau

semi-conducteur donné dans le deuxième four, de conserver la même durée de recuit de recristallisation que celle utilisée dans le premier four pour recristalliser cette épaisseur ei.

Sur la figure 3, des courbes C_{200} et C_{300} représentatives d'évolution de la vitesse de recristallisation d'un matériau semi-conducteur donné en fonction de la température, respectivement pour un premier four de recuit et pour un deuxième four de recuit, sont données.

Les paramètres V_{01}, V_{02} peuvent permettre de déterminer une vitesse de recristallisation dans le deuxième four pour une même température de consigne que le premier four et donc ajuster la durée de recuit, ou de déterminer la température de consigne du deuxième four pour obtenir une même épaisseur recristallisée que dans le premier four, avec la même durée de recuit.

On peut importer ainsi d'un four à l'autre une même recette de recuit, en adaptant uniquement la température de recuit.

Sur la base de ce procédé, on peut réaliser l'étalonnage d'un four (four 2) par rapport à un four de référence (four 1).

De manière avantageuse le rapport des vitesses de recristallisation entre les deux fours avant étalonnage est inférieur à 10, c'est à dire $V_1/V_2 < 10$ ou $V_2/V_1 < 10$. Ceci permet de réaliser l'étalonnage en supposant un décalage de température de moins d'une vingtaine de °K.

Soit la droite d'Arrhénius du four de référence ($Vref=V_{01} \exp[-Ea/kT]$).

On fait une mesure de vitesse de recristallisation (V_2) à la température Tc_2 sur le four 2.

On évalue la température Tc_1 qui donne la même vitesse ($Vref(Tc1)=V_2(Tc2)$) dans le four de référence, d'où on déduit le décalage en température des 2 fours (Tc_1-Tc_2).

On règle ensuite le thermomètre du four 2 selon le décalage mesuré ($T_{2_étalonné}=T_{2_avant\text{-}étalonnage}+Tc_1-Tc_2$).

Un dispositif pour mettre en oeuvre un procédé selon l'invention est représenté de manière schématique sur la figure 4A. Il comporte au moins un four 20 muni de moyens 22 de mesure de température. Les moyens de mesure de température peuvent être reliés à des moyens 36 de traitement de données, comportant en particulier des moyens 34 de calcul qui peuvent être associés à des moyens périphériques 30, 32, tels que des moyens de visualisation et un clavier qui permet à un utilisateur d'entrer des données.

Les moyens 36 comportent notamment un ordinateur 34 ou un micro ordinateur ou un calculateur programmé pour mémoriser et traiter des données de température et des données pour mettre en œuvre un procédé selon l'invention, par exemple pour calculer une vitesse de cristallisation et/ou un ou plusieurs paramètres V_{01}. Les moyens 36, 34 sont programmés pour mettre en œuvre un procédé d'étalonnage selon l'invention, en calculant un ou plusieurs paramètres V_{01} à partir des données de températures mesurées dans le four et des données d'épaisseur, en particulier

d'épaisseur de matériau rendu amorphe, mesurées sur les échantillons.

Ils comportent en outre des moyens de mémorisation pour mémoriser :

- des données de température mesurées,
- et/ou une ou plusieurs loi(s) d'Arrhenius ou des données correspondant à une ou plusieurs de ces lois ;
- et/ou des données traitées selon un procédé selon l'invention.

Des moyens de mémorisation sont également prévus pour mettre en œuvre des étapes de procédé selon l'invention.

À l'aide d'un tel dispositif, un opérateur peut sélectionner une température et une durée en vue de réaliser un recuit d'un matériau semi-conducteur prédéterminé, par exemple sur la base d'une loi d'Arrhenius mémorisée dans une zone mémoire du dispositif et/ou choisie parmi une pluralité de loi d'Arrhenius préalablement mémorisées dans une zone mémoire du dispositif.

L'ensemble des moyens 36 permet donc éventuellement de commander le four 20 et notamment toutes les opérations de recuit effectuées à l'aide de ce four.

Un dispositif pour mettre en oeuvre un autre procédé selon l'invention est représenté de manière schématique sur la figure 4B.

Il comporte d'abord un ensemble de moyens 20, 22, 30, 32, 34, 36 qui viennent d'être décrits en liaison avec la figure 4A. Il comporte en outre un

deuxième four 20' muni de moyens 22' de mesure de température. Les moyens 22' de mesure de température de ce deuxième four peuvent être reliés aux même moyens 36 de traitement de données que ceux associé au premier four. Ainsi, on peut mettre en oeuvre un procédé du type déjà décrit ci-dessus pour étalonner un deuxième four à partir de l'étalonnage d'un premier four.

Comme on l'a déjà indiqué ci-dessus, les épaisseurs de matériaux amorphes ou les épaisseurs de matériaux recristallisés peuvent être mesurées à l'aide d'un dispositif de mesure tel qu'un microscope électronique à transmission. Les données obtenues avec un tel dispositif de mesure peuvent être transmises aux moyens 36, soit de manière manuelle par un opérateur à l'aide du clavier 32, soit de manière automatique, le dispositif de mesure d'épaisseur étant relié à l'ensemble des moyens 36.

REVENDICATIONS

1. Procédé d'étalonnage d'un four (20) de recuit pour dispositif à semi-conducteur comprenant les étapes de :

a) cristallisation par recuit dans ledit four d'une épaisseur donnée d'une couche (10) de matériau semi-conducteur donné (9) amorphe,

b) détermination de l'épaisseur cristallisée puis de la vitesse de cristallisation V1 de ladite couche de matériau semi-conducteur donné (9) effectuée à l'étape a),

c) détermination du paramètre V_{01} de la relation $V1(T1) = V_{01} * \exp(-Ea/kT_1)$, Ea une constante d'énergie d'activation d'Arrhenius, k la constante de Boltzmann, T_1 la température de recuit de cristallisation à l'étape a).

2. Procédé selon la revendication 1, la couche (10) de matériau semi-conducteur donné (9) ayant été rendue amorphe, préalablement à l'étape a), par implantation de dopants dans ledit matériau semi-conducteur donné (9).

3. Procédé selon la revendication 2, le recuit effectué à l'étape a) ayant une durée t et une température T déterminées à l'aide d'une loi d'Arrhénius de référence, préalablement connue :

$V(T) = V0 * \exp(-E_a/kT)$ (avec Ea l'énergie d'activation d'Arrhenius, k la constante de Boltzmann,

T la température de recuit, V0 le facteur pré-exponentiel de cette loi d'Arrhénius).

4. Procédé de réalisation d'un dispositif à semi-conducteur comprenant au moins une étape de cristallisation ou de re-cristallisation, par recuit dans un four étalonné à l'aide d'un procédé selon l'une des revendications 1 à 3, d'une autre couche à base dudit matériau semi-conducteur amorphe, selon une durée et une température prédéterminées à l'aide du paramètre V_{01} déterminé à l'étape c).

5. Procédé d'étalonnage de four(s) de recuit pour dispositif à semi-conducteur comprenant :

- l'étalonnage d'un premier four de recuit à l'aide d'un procédé selon l'une des revendications 1 à 3,
- l'étalonnage d'un deuxième four de recuit par :
  - recuit dans ledit deuxième four d'une épaisseur d'une deuxième couche dudit matériau semi-conducteur donné amorphe,
  - détermination de la vitesse de cristallisation V_2 de ladite deuxième couche dudit matériau semi-conducteur,
  - détermination du paramètre V_{02} de la relation $V2(T2) = V_{02} * \exp(-Ea/kT_2)$, Ea une constante d'énergie d'activation d'Arrhenius, k la constante de Boltzmann, avec T_2 la température de recuit de cristallisation de la deuxième couche,

- détermination du paramètre $\Delta(1/T)=(1/T1)-(1/T2)$ pour lequel $V1(T_1) = V2(T2)$, ou une température T pour laquelle $V1(T_1) = V2(T2)$.

6. Procédé de réalisation d'un dispositif à semi-conducteur comprenant au moins une étape de cristallisation ou de re-cristallisation, par recuit dans ledit deuxième four étalonné à l'aide d'un procédé selon la revendication 5, d'une épaisseur ei d'une couche dudit matériau semi-conducteur amorphe.

7. Procédé selon l'une des revendications 1 à 6, ledit matériau semi-conducteur étant du Germanium.

8. Dispositif (36) d'étalonnage d'un four (20) de recuit pour dispositif à semi-conducteur comportant des moyens pour déterminer, à partir de données d'épaisseur de cristallisation d'une couche de matériau semi-conducteur donné pour une température T donnée :

- une épaisseur cristallisée et une vitesse de cristallisation V1 de ladite couche,

- un paramètre V_{01} de la relation $V1(T1) = V_{01} * \exp(-Ea/kT_1)$, où Ea est une constante d'énergie d'activation d'Arrhenius, k la constante de Boltzmann, T_1 la température de recuit de cristallisation.

9. Dispositif (36) d'étalonnage d'un four (20') de recuit pour dispositif à semi-conducteur

comportant un dispositif d'étalonnage d'un premier four (20), selon la revendication précédente, et des moyens pour déterminer, à partir de données d'épaisseur de cristallisation d'une couche de matériau semi-conducteur donné pour une température T donnée dudit four (20') :

- une épaisseur cristallisée et une vitesse de cristallisation V2 de ladite couche,

- un paramètre V_{02} de la relation $V2(T2) = V_{02} * \exp(-Ea/kT_1)$, où Ea est une constante d'énergie d'activation d'Arrhenius, k la constante de Boltzmann, T_1 la température de recuit de cristallisation,

- un paramètre $\Delta(1/T)=(1/T1)-(1/T2)$ pour lequel $V1(T_1) = V2(T2)$ ou une température T pour laquelle $V1(T_1) = V2(T2)$.

10. Four (20) de recuit pour dispositif à semi-conducteur comportant des moyens (22) de mesure de température dans le four, et un dispositif (36) d'étalonnage selon l'une des revendications 9 ou 10, relié audit four pour recevoir au moins lesdites données de température.

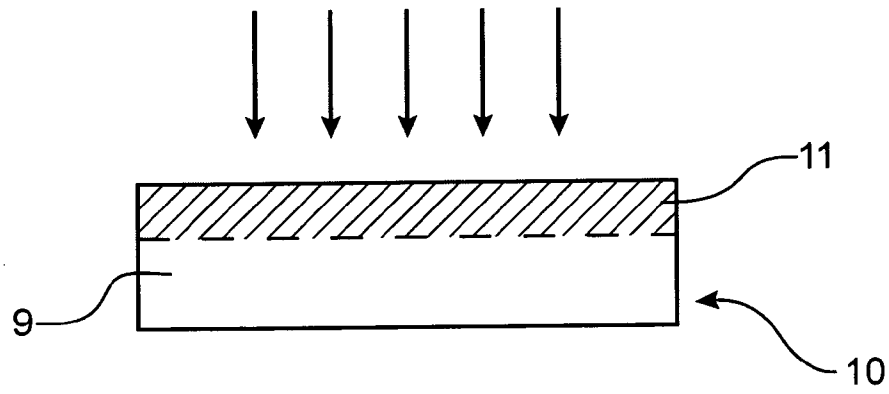


FIG.1A

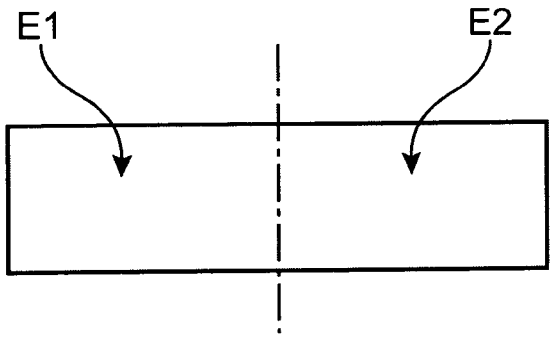


FIG.1B

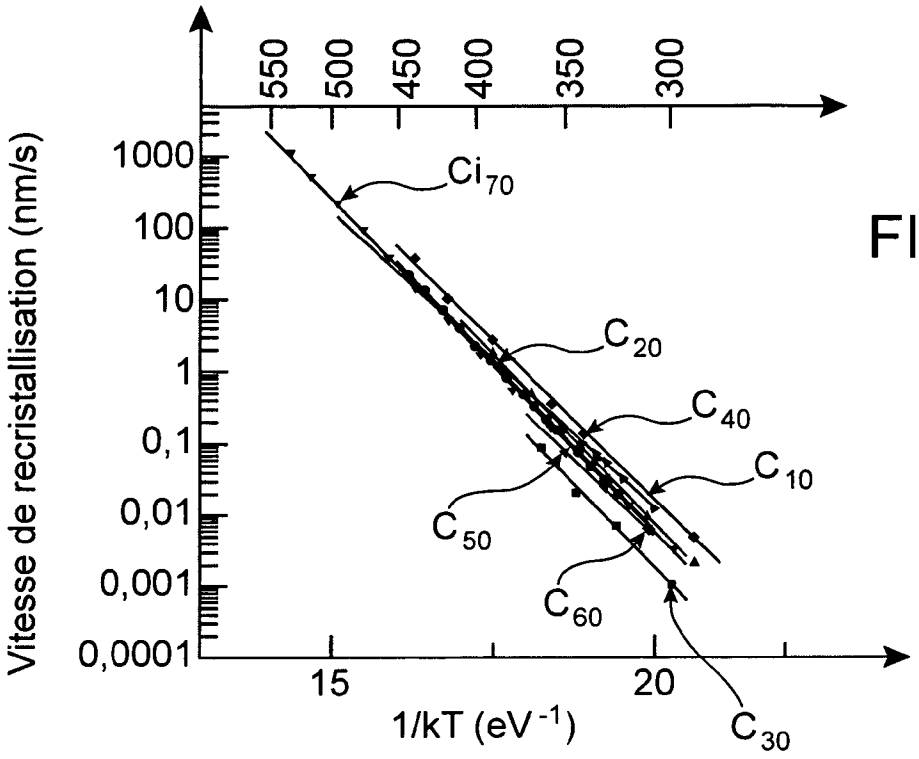

550
500
450
400
350
300
1000
100
10
1
0,1
0,01
0,001
0,0001
Vitesse de recristallisation (nm/s)
Ci70
C20
C40
C10
C50
C60
C30
15
20
1/kT (eV-1)

FIG.2

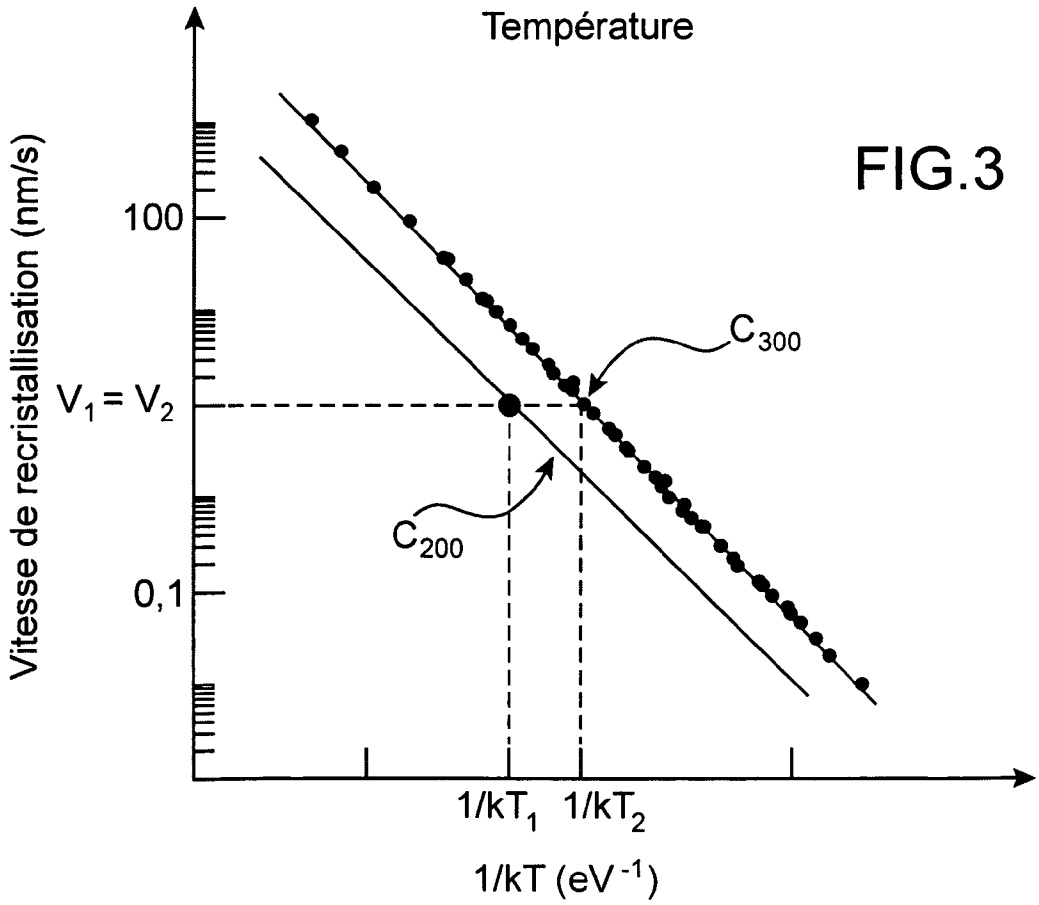

Température
100
V1 = V2
0,1
Vitesse de recristallisation (nm/s)
C300
C200
1/kT1
1/kT2
1/kT (eV-1)

FIG.3

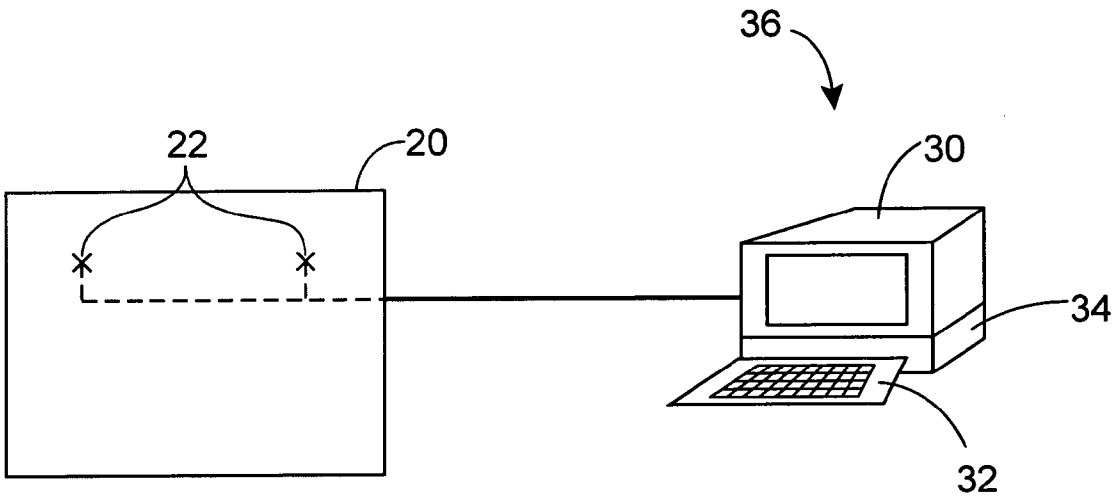


FIG.4A

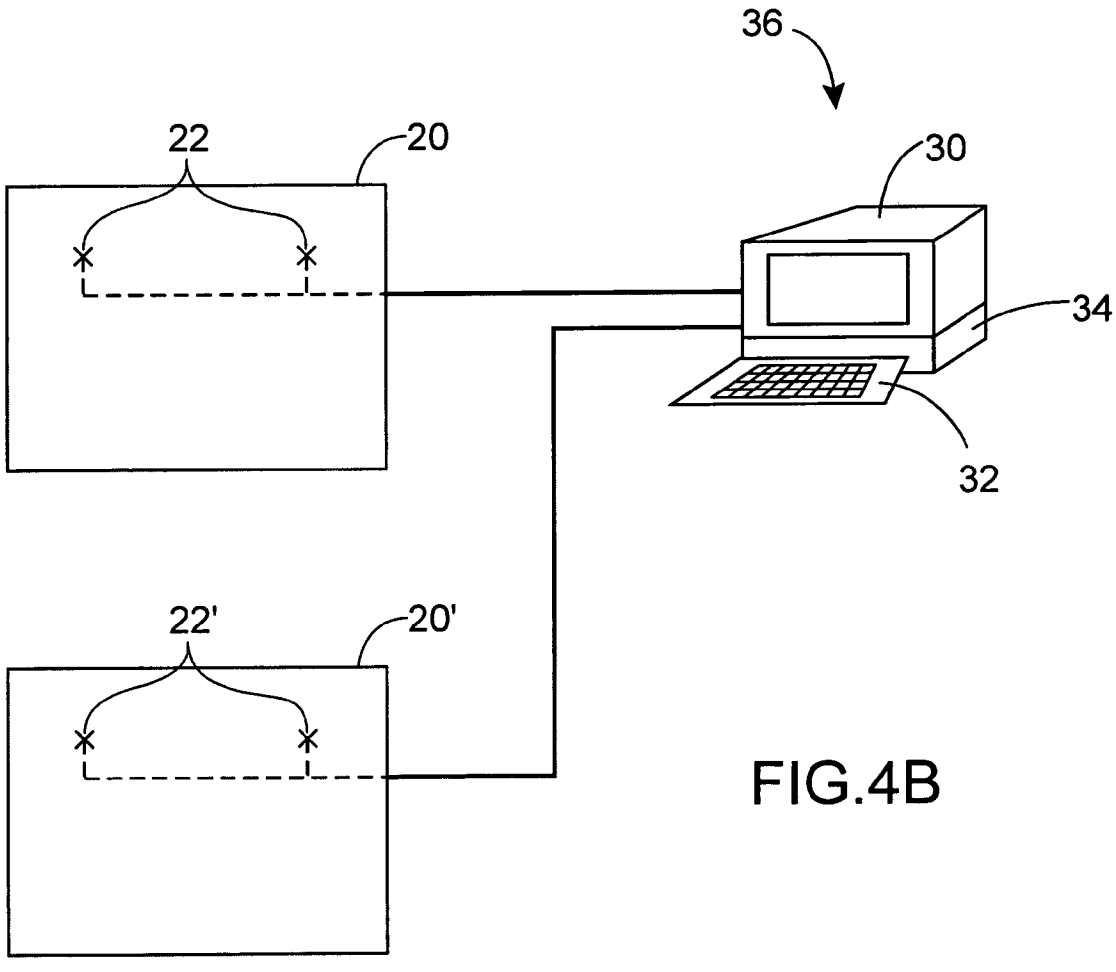


FIG.4B

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/060248

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. H01L21/66
ADD.

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)
H01L

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 practical, search terms used)
EPO-Internal, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JOHNSON B C ET AL: "Intrinsic and dopant-enhanced solid-phase epitaxy in amorphous germanium" PHYSICAL REVIEW. B, CONDENSED MATTER AND MATERIALS PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, WOODBURY, NY, US, vol. 77, no. 21, 1 June 2008 (2008-06-01), pages 214109/1-214109/12, XP009129830 ISSN: 1098-0121 cited in the application * pages 214109/1 à 214109/8, chapitres 'I. Introduction', 'II. Experiment' et 'III. Results and Discussion' * ----- -/--	1-10

[X] Further documents are listed in the continuation of Box C.

[X] 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 document 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	Date of mailing of the international search report
23 August 2010	06/09/2010

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bruckmayer, Manfred

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	KRINGHOJ P ET AL: "Solid-phase epitaxial crystallization of strain-relaxed Si1-xGex alloy layers" PHYSICAL REVIEW LETTERS, AMERICAN PHYSICAL SOCIETY, NEW YORK, US, vol. 73, no. 6, 8 August 1994 (1994-08-08) , pages 858-861, XP009129829 ISSN: 0031-9007 cited in the application the whole document	1-10
X	HAYNES T E ET AL: "Composition dependence of solid-phase epitaxy in silicon-germanium alloys: experiment and theory" PHYSICAL REVIEW, B. CONDENSED MATTER, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 51, no. 12, 15 March 1995 (1995-03-15), pages 7762-7771, XP009129828 ISSN: 0163-1829 cited in the application * pages 7762 à 7764, chapitres 'I. Introduction', 'II. Experimental Description' et 'III. Results' * * pages 7769 à 7770, chapitre 'VI. Temperature Dependence' *	1-10
X	OLSON G L ET AL: "Kinetics of solid phase crystallization in amorphous silicon" MATERIALS SCIENCE REPORTS,, vol. 3, no. 1, 1 June 1988 (1988-06-01), pages 1-77, XP009129841 ISSN: 0920-2307 * pages 9 à 20, chapitres 2.1 à 2.3 * * pages 22 à 27, chapitre 3.1.1 *	1-10
X	GUO-QUAN LU ET AL: "PRESSURE-ENHANCED CRYSTALLIZATION KINETICS OF AMORPHOUS SI AND GE: IMPLICATIONS FOR POINT-DEFECT MECHANISMS" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 70, no. 10 PART 01, 15 November 1991 (1991-11-15), pages 5323-5345, XP000273726 ISSN: 0021-8979 cited in the application * pages 5323 à 5332; chapitres 'I. Introduction', 'II. Experiment' et 'III. Results' *	1-10
X	US 2005/075750 A1 (SUN CHENG I [TW]) 7 April 2005 (2005-04-07)	8-10
A	paragraph [0028] - paragraph [0043]	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2010/060248

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2005075750 A1	07-04-2005	TW 240330 B	21-09-2005

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°
PCT/EP2010/060248

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
INV. H01L21/66
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)
H01L

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, INSPEC

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	JOHNSON B C ET AL: "Intrinsic and dopant-enhanced solid-phase epitaxy in amorphous germanium" PHYSICAL REVIEW. B, CONDENSED MATTER AND MATERIALS PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, WOODBURY, NY, US, vol. 77, no. 21, 1 juin 2008 (2008-06-01), pages 214109/1-214109/12, XP009129830 ISSN: 1098-0121 cité dans la demande * pages 214109/1 à 214109/8, chapitres 'I. Introduction', 'II. Experiment' et 'III. Results and Discussion' *	1-10

-/--

[X] Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

[X] 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'appartenenant 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	Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale
23 août 2010	06/09/2010

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale	Fonctionnaire autorisé
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bruckmayer, Manfred

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	KRINGHOJ P ET AL: "Solid-phase epitaxial crystallization of strain-relaxed Si1-xGex alloy layers" PHYSICAL REVIEW LETTERS, AMERICAN PHYSICAL SOCIETY, NEW YORK, US, vol. 73, no. 6, 8 août 1994 (1994-08-08), pages 858-861, XP009129829 ISSN: 0031-9007 cité dans la demande le document en entier	1-10
X	HAYNES T E ET AL: "Composition dependence of solid-phase epitaxy in silicon-germanium alloys: experiment and theory" PHYSICAL REVIEW, B. CONDENSED MATTER, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 51, no. 12, 15 mars 1995 (1995-03-15) , pages 7762-7771, XP009129828 ISSN: 0163-1829 cité dans la demande * pages 7762 à 7764, chapitres 'I. Introduction', 'II. Experimental Description' et 'III. Results' * * pages 7769 à 7770, chapitre 'VI. Temperature Dependence' *	1-10
X	OLSON G L ET AL: "Kinetics of solid phase crystallization in amorphous silicon" MATERIALS SCIENCE REPORTS,, vol. 3, no. 1, 1 juin 1988 (1988-06-01), pages 1-77, XP009129841 ISSN: 0920-2307 * pages 9 à 20, chapitres 2.1 à 2.3 * * pages 22 à 27, chapitre 3.1.1 *	1-10
X	GUO-QUAN LU ET AL: "PRESSURE-ENHANCED CRYSTALLIZATION KINETICS OF AMORPHOUS SI AND GE: IMPLICATIONS FOR POINT-DEFECT MECHANISMS" JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS. NEW YORK, US, vol. 70, no. 10 PART 01, 15 novembre 1991 (1991-11-15), pages 5323-5345, XP000273726 ISSN: 0021-8979 cité dans la demande * pages 5323 à 5332; chapitres 'I. Introduction', 'II. Experiment' et 'III. Results' *	1-10
X	US 2005/075750 A1 (SUN CHENG I [TW]) 7 avril 2005 (2005-04-07)	8-10
A	alinéa [0028] - alinéa [0043]	1-7

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°
PCT/EP2010/060248

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 2005075750 A1	07-04-2005	TW 240330 B	21-09-2005