

12

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

22 Date de dépôt : 19.01.01.

30 Priorité : 21.01.00 JP 00012618.

43 Date de mise à la disposition du public de la
 demande : 27.07.01 Bulletin 01/30.

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

60 Références à d'autres documents nationaux
 apparentés :

71 Demandeur(s) : *NISSIN ELECTRIC CO LTD — JP.*

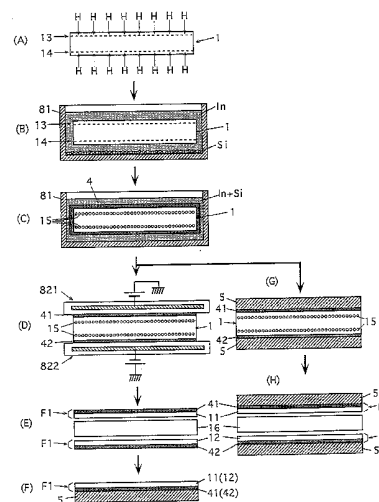
72 Inventeur(s) : *MIYAKE KOJI et OGATA KIYOSHI.*

73 Titulaire(s) :

74 Mandataire(s) : *CABINET ORES.*

54 **PROCEDE DE FORMATION D'UNE COUCHE MINCE CRISTALLINE CONTENANT DU SILICIUM.**

57 L'invention concerne un procédé de formation d'une
 couche mince cristalline contenant du silicium. Dans ce pro-
 cédé, des ions hydrogène sont implantés dans un substrat
 cristallin contenant du silicium. Des vides sont formés en im-
 mergeant le substrat cristallin contenant du silicium dans un
 liquide métallique fondu, par exemple du silicium et de l'in-
 dium, en vue de chauffer le substrat. Tout en pressant une
 surface à injection ionique du substrat, le substrat est chauffé
 par le liquide métallique fondu pour former les vides. En
 refroidissant le liquide, le silicium dans le liquide supersaturé
 est déposé sur la surface du substrat de telle sorte que le
 film cristallin contenant du silicium soit formé sur la surface
 du substrat. Le substrat est divisé dans la position de forma-
 tion de vide. Ainsi, une couche mince comprenant le film
 cristallin contenant du silicium appliquée sur une portion du
 substrat est obtenue. La couche mince cristalline contenant
 du silicium ainsi obtenue peut être collée à un substrat de
 support si nécessaire.



L'invention concerne un procédé de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium qui peut être utilisée, par exemple, dans des substrats destinés à une pile solaire, un afficheur à cristaux
5 liquides et un composant à semi-conducteur.

Ces dernières années, on s'est intéressé à un procédé d'arrachement à injection d'ions hydrogène en tant que procédé de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium sur un substrat de
10 support. Le procédé d'arrachement à injection d'ions hydrogène est employé pour produire un substrat SOI (silicium sur isolant), un substrat de pile solaire et autres.

Un exemple d'un procédé de formation d'un
15 substrat SOI par le procédé d'arrachement à injection d'ions hydrogène va à présent être décrit en se référant à la figure 9.

Tout d'abord, un film d'oxyde thermique (film de SiO_2) 911 est formé sur un substrat cristallin en Si (voir
20 l'étape (B) à la figure 9).

Puis des ions d'hydrogène sont injectés dans le substrat cristallin en Si 91 depuis le côté du film d'oxyde thermique (voir l'étape (C) à la figure 9). Une profondeur d'injection d'ions hydrogène est réglée par
25 une tension d'accélération d'ions. Dans une étape ultérieure, le substrat cristallin 91 est séparé (divisé) dans une position 913 dans laquelle des ions hydrogène sont injectés comme décrit ci-dessus. A cet effet, les ions hydrogène sont injectés à une densité d'injection
30 d'environ 5×10^{16} ions/cm² ou plus.

Ensuite, un substrat de support 92 est déposé sur la surface à injection ionique (film d'oxyde thermique) du substrat cristallin en Si 91, et ceux-ci sont chauffés de manière à ce qu'il se forme de nombreux vides ou trous
35 fins 914 dans la position d'implantation ionique 913 du substrat cristallin en Si 91 (voir l'étape (D) à la figure 9). L'hydrogène injecté dans le substrat

cristallin en Si 91 est gazéifié par la chaleur de telle sorte que les vides 914 se forment. Le chauffage destiné à la formation des vides 914 est réalisé pendant plusieurs minutes à une température d'environ 350°C à 5 600°C. Les vides avoisinants sont connectés les uns aux autres. Par suite de cette connexion et d'autres, une portion faible ou fragile en forme de couche se forme dans la portion à formation de vide du substrat cristallin en Si 91. Etant donné que la surface à 10 injection ionique (film d'oxyde thermique) du substrat cristallin en Si 91 est soumise à une pression appliquée par le substrat de support 92, ceci supprime une situation dans laquelle la portion de surface du substrat 91 est partiellement arrachée en raison de la pression 15 par l'hydrogène gazeux. Un arrachement produisant des portions en forme de cratères de plusieurs micromètres ou moins de diamètre aurait lieu dans la portion de surface du substrat cristallin 91 à moins qu'une pression ne soit appliquée à la surface à injection ionique du substrat 20 cristallin en Si 91 de la manière précédente ou d'une autre manière appropriée.

Ensuite, le substrat cristallin en Si 91 et le substrat de support 92 sont chauffés et collés l'un à l'autre à une température élevée d'environ 1000°C ou 25 plus.

Puis le substrat cristallin en Si 91 est divisé le long des vides 914 (voir l'étape (E) à la figure 9). Ainsi, il reste sur le film en SiO₂ 911 une couche mince cristalline en Si 9121, qui constituait une portion du 30 substrat cristallin 91. De cette manière, le substrat SOI, à savoir le substrat de support 92, sur lequel la couche mince cristalline en Si 9121 et le film de SiO₂ (film isolant) 911 sont stratifiés, est formé. Une portion de substrat cristallin en Si 9122 différente de 35 la portion ci-dessus peut être à nouveau utilisée dans le processus suivant de formation du substrat SOI.

Toutefois, les problèmes suivants se présentent dans le procédé ci-dessus de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium sur le substrat de support, par exemple, par implantation d'ions dans le substrat cristallin contenant du silicium en vue de former les vides.

L'un des problèmes est que le procédé ci-dessus ne peut former efficacement une couche mince cristalline contenant du silicium relativement épaisse, de plusieurs dizaines de micromètres d'épaisseur sur le substrat de support sans difficulté. Ceci sera décrit ci-dessous plus en détail.

Dans le cas où le substrat pourvu de la couche mince cristalline en Si est destiné à être utilisé pour la fabrication d'une pile solaire, la couche mince cristalline en Si doit présenter une épaisseur de 7 μm ou plus, et de préférence d'environ 10 μm , en vue d'obtenir une conversion photoélectrique élevée.

L'épaisseur de la couche mince cristalline en Si formée sur le substrat de support correspond à la profondeur d'implantation ionique dans le processus d'implantation d'ions hydrogène, et peut être accrue en augmentant la profondeur d'implantation ionique. En augmentant la tension d'accélération d'ions dans le processus d'implantation ionique, la profondeur d'implantation ionique peut être accrue dans une mesure limitée. En vue d'implanter des ions hydrogène dans une position à une profondeur de 10 μm , par exemple, de la surface (surface à injection ionique) du substrat cristallin, l'implantation ionique est réalisée avec une tension d'accélération d'environ 700 keV. Toutefois, en vue d'obtenir la profondeur d'implantation d'environ 10 μm ou plus, un dispositif d'implantation ionique à grande échelle est requis si bien que le processus d'implantation ionique nécessite un coût élevé. En vue de supprimer une augmentation excessive de la température du substrat cristallin soumis à l'implantation ionique, il

est nécessaire de supprimer un courant de faisceau ionique, et il est donc impossible de réaliser efficacement l'implantation ionique en obtenant une densité requise.

5 Conformément à la méthode ci-dessus, il est difficile de produire une couche mince cristalline contenant du silicium relativement épaisse avec une haute efficacité et un faible coût.

10 Un autre problème se présente également. Si des particules sont présentes sur la surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium, l'arrachement de portions infimes et/ou des craquelures se produisent dans la couche superficielle du substrat cristallin lors du chauffage du substrat en vue de former
15 les vides. Ceci sera davantage décrit ci-dessous en se référant à la figure 10.

Comme on peut le constater dans l'étape (A) illustrée à la figure 10, une particule 93 est présente sur un surface à injection ionique 915 du substrat
20 cristallin 91, et est interposée entre le substrat de support 92 et le substrat cristallin 91. Dans ce cas, la surface à injection ionique 915 présente une portion qui n'est pas pressée par le substrat de support 92. Lorsque le chauffage destiné à la formation des vides est réalisé
25 à l'état ci-dessus, l'arrachement de portions infimes et/ou des craquelures peuvent se produire dans et autour de la portion, qui n'est pas pressée par le substrat de support 92, de la couche superficielle du substrat cristallin 91, comme on peut le constater dans l'étape
30 (B) illustrée à la figure 10. De telles portions infimes arrachées et craquelures, qui sont présentes durant la formation de vides, entraîneront un défaut dans le produit final, c'est-à-dire le substrat pourvu de la couche mince cristalline. Ceci réduit la productivité des
35 couches minces cristallines contenant du silicium et augmente le coût de fabrication et le prix de vente de la couche mince cristalline contenant du silicium.

Par exemple, on peut envisager que le problème précédent dû à des particules puisse être supprimé en exécutant les étapes respectives dans une salle blanche d'une grande propreté. Toutefois, la salle blanche d'une
5 grande propreté, qui est requise pour remédier au problème ci-dessus dû à des particules, nécessite des coûts élevés de construction, de maintenance et opératoires, et augmente ainsi le coût de fabrication du substrat avec la couche mince cristalline contenant du
10 silicium.

En conséquence, un objet de l'invention est de proposer un procédé de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium qui permette la formation de la couche mince cristalline contenant du
15 silicium avec une haute productivité et un faible coût.

De manière plus spécifique, un objet de l'invention est de proposer un procédé de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium, et en particulier un procédé de formation d'une couche mince
20 cristalline contenant du silicium permettant la formation de la couche mince cristalline contenant du silicium d'épaisseur relativement élevée avec une haute efficacité.

Un autre objet de l'invention est de proposer un
25 procédé de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium sur un substrat de support, et en particulier un procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium sur le substrat de support permettant la formation de la couche mince
30 cristalline contenant du silicium d'épaisseur relativement élevée avec une haute efficacité.

Encore un autre objet de l'invention est de proposer un procédé de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium, par exemple par
35 implantation d'ions dans le substrat cristallin contenant du silicium et par formation de vides, et en particulier un procédé de formation de la couche mince cristalline

contenant du silicium, qui peut supprimer l'arrachement de portions infimes et la génération de craquelures dans le substrat cristallin durant le processus de formation des vides, même si des particules sont présentes sur une surface à injection d'ions du substrat cristallin contenant du silicium.

Un autre objet de l'invention est de proposer un procédé de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium sur un substrat de support, par exemple par implantation d'ions dans le substrat cristallin contenant du silicium et formation de vides, et en particulier un procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium sur le substrat de support, qui peut supprimer l'arrachement de portions infimes et la génération de craquelures dans le substrat cristallin durant le processus de formation de vides, même si des particules sont présentes sur une surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium.

L'invention propose fondamentalement un premier et un deuxième types de procédés de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium, qui seront décrits ci-dessous.

Un procédé de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium du premier type comprend:

une étape d'implantation ionique consistant à implanter des ions hydrogène ou des ions hélium dans un substrat cristallin contenant du silicium à 10% ou plus en poids;

une étape de formation de vide consistant à former un vide dans une position d'implantation ionique dudit substrat cristallin en chauffant le substrat cristallin soumis à l'implantation ionique;

une étape de croissance épitaxiale consistant à immerger le substrat cristallin à implantation ionique dans un liquide métallique fondu contenant du silicium,

et à refroidir le liquide pour provoquer la croissance
épitaxiale en vue de former une couche mince
monocristalline ou polycristalline constituée
principalement de silicium sur une surface à injection
5 ionique du substrat; et

une étape de division consistant à diviser le
substrat cristallin pourvu de la couche mince cristalline
dans la position de formation de vide, où

le chauffage du substrat cristallin réalisé pour
10 la formation de vide dans l'étape de formation de vide
est réalisé en immergeant au moins la surface à injection
ionique du substrat cristallin dans le liquide métallique
fondu utilisé dans l'étape de croissance épitaxiale.

Un procédé de formation d'une couche mince
15 cristalline contenant du silicium du deuxième type
comprend:

une étape d'implantation ionique consistant à
implanter des ions hydrogène ou des ions hélium dans un
substrat cristallin contenant du silicium constitué
20 principalement de silicium;

une étape de formation de film consistant à
former un film prédéterminé sur une surface à injection
ionique du substrat cristallin contenant du silicium;

une étape de formation de vide consistant à
25 former un vide dans une position d'implantation ionique
du substrat cristallin en chauffant le substrat
cristallin pourvu du film; et

une étape de division consistant à diviser le
substrat cristallin dans la position de formation de
30 vide, où

l'étape de formation de film est réalisée en vue
de procurer une épaisseur de 2 μm ou plus d'une surface
du film à la position d'implantation ionique.

Les objets, caractéristiques, aspects et
35 avantages ci-dessus et d'autres de la présente invention
apparaîtront plus clairement à partir de la description
détaillée suivante de la présente invention lorsqu'elle

est considérée en association avec les dessins d'accompagnement.

La figure 1(A) est une coupe transversale schématique d'un exemple de couche mince cristalline contenant du silicium formée par un procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium selon l'invention, et la figure 1(B) est une coupe transversale schématique d'un exemple d'une structure formée par le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium selon l'invention, et en particulier d'une structure comprenant la couche mince cristalline contenant du silicium formée sur un substrat de support;

la figure 2 illustre les étapes dans des exemples du procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium selon l'invention, et en particulier des étapes de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium illustrée aux figures 1(A) et 1(B);

la figure 3(A) est une coupe transversale schématique d'un exemple de la couche mince cristalline contenant du silicium formée par un autre procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium selon l'invention, et la figure 3(B) est une coupe transversale schématique d'un exemple d'une structure formée par le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium selon l'invention, et en particulier de la structure comprenant la couche mince cristalline contenant du silicium formée sur un substrat de support;

la figure 4 illustre des étapes dans des exemples du procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium selon l'invention, et en particulier des étapes de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium illustrée aux figures 3(A) et 3(B);

la figure 5 illustre une épaisseur d'un film formé sur une surface à injection ionique dans une étape de formation de film;

les figures 6(A) et 6(B) illustrent une méthode
5 de formation d'un vide dans la structure comprenant une particule située sur la surface à injection ionique du substrat cristallin;

la figure 7(A) est une coupe transversale
schématique d'encore un autre exemple de couche mince
10 cristalline contenant du silicium formée par le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium selon l'invention, et la figure 7(B) est une coupe transversale schématique d'un autre exemple
supplémentaire de la structure formée par le procédé de
15 formation de la couche mince cristalline contenant du silicium selon l'invention, et en particulier de la structure comprenant la couche mince cristalline contenant du silicium formée sur un substrat de support;

la figure 8 est un schéma des étapes illustrant
20 un exemple d'un procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium selon l'invention, et en particulier du procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium illustrée aux figures 7(A) et 7(B);

la figure 9 est un schéma des étapes illustrant
25 un exemple d'un procédé de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium dans l'art antérieur;
et

les figures 10(A) et 10(B) illustrent un état
30 dans lequel une particule d'une surface à injection ionique entraîne une portion infime arrachée et/ou une craquelure lors de la formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium par le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du
35 silicium dans l'art antérieur illustré à la figure 9.

A titre de modes de réalisation préférés, l'invention propose fondamentalement des procédés de

formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium des deux types suivants: à savoir du premier et du deuxième types. Ceux-ci vont à présent être décrits ci-dessous.

5 (1) Procédé de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium du premier type

Un procédé de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium du premier type comprend:

10 une étape d'implantation ionique consistant à implanter des ions hydrogène ou des ions hélium dans un substrat cristallin contenant du silicium contenant du silicium à 10% ou plus en poids;

15 une étape de formation de vide consistant à former un vide dans une position d'implantation ionique du substrat cristallin en chauffant le substrat cristallin soumis à l'implantation ionique;

20 une étape de croissance épitaxiale consistant à immerger le substrat cristallin à implantation ionique dans un liquide métallique fondu contenant du silicium, et à refroidir le liquide pour provoquer la croissance épitaxiale en vue de former une couche mince monocristalline ou polycristalline constituée principalement de silicium sur une surface à injection
25 ionique du substrat; et

une étape de division consistant à diviser le substrat cristallin pourvu de la couche mince cristalline dans la position de formation de vide.

30 Le chauffage du substrat cristallin réalisé pour la formation de vide dans l'étape de formation de vide est réalisé en immergeant au moins la surface à injection ionique du substrat cristallin dans le liquide métallique fondu utilisé dans l'étape de croissance épitaxiale.

35 Ce premier type de procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium peut en outre comprendre une étape consistant à coller un substrat de support, qui sera décrite ultérieurement.

Ainsi, la couche mince cristalline contenant du silicium peut être formée sur le substrat de support. Conformément au procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du premier type, il est possible de former la couche mince cristalline contenant du silicium qui peut être utilisée pour la fabrication d'une pile solaire et autres. En outre, conformément au procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du premier type, une couche mince monocristalline en carbure de silicium destinée à être utilisée, par exemple, dans un dispositif d'alimentation électrique, peut être formée sur le substrat de support. Conformément au procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du premier type, on peut former un substrat SOI (silicium sur isolant).

Le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du premier type comprend l'étape d'implantation ionique, l'étape de formation de vide, l'étape de croissance épitaxiale et l'étape de division. Le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du premier type emploie ce que l'on appelle un procédé d'arrachement (séparation) à implantation ionique ou ce que l'on appelle un procédé de coupe intelligente. Les étapes respectives vont à présent être successivement décrites plus en détail.

(1-1) Etape d'implantation ionique

Dans l'étape d'implantation ionique, les ions hydrogène ou hélium sont implantés dans le substrat cristallin contenant du silicium.

Le substrat cristallin contenant du silicium est formé d'un substrat monocristallin ou polycristallin contenant du silicium à 10% ou plus en poids. Le substrat cristallin contenant du silicium peut contenir des impuretés servant de donneur ou d'accepteur. Le substrat cristallin contenant du silicium peut être en forme de plaquette.

Les ions hydrogène ou hélium sont implantés dans le substrat cristallin contenant du silicium et atteignent une position à une profondeur prédéterminée de la surface. L'implantation ionique peut être réalisée, 5 par exemple, par un dispositif d'implantation ionique. La profondeur d'implantation ionique peut être réglée par une tension d'accélération d'ions utilisée pour l'implantation ionique. Une tension d'accélération d'ions plus élevée permet une implantation ionique à une 10 position plus profonde. La profondeur d'implantation ionique peut être comprise dans une gamme allant de centièmes à des dizaines de micromètres.

La profondeur d'implantation ionique varie en fonction de l'espèce ionique même si l'implantation 15 ionique est réalisée dans les mêmes conditions d'implantation ionique. Par conséquent, il est préférable de n'utiliser qu'un seul type d'espèce ionique choisie, par exemple, par séparation massique. Par exemple, plusieurs sortes d'ions hydrogène positifs sont 20 présentes. En vue d'implanter les ions hydrogène positifs, il est donc préférable de réaliser la séparation massique en vue d'implanter uniquement le type prédéterminé d'ions hydrogène positifs. Dans le processus d'implantation des ions hydrogène négatifs, la profondeur 25 d'implantation ionique uniforme peut être obtenue sans la séparation massique car un seul type d'ions hydrogène négatifs (H^-) sont présents.

L'étape d'implantation ionique est une pré-étape (prétraitement) pour l'étape de formation de vide 30 consistant à former les vides dans le substrat cristallin contenant du silicium et l'étape de séparation (étape de division) consistant à séparer (diviser) le substrat cristallin dans la position de formation de vide, comme cela sera décrit ultérieurement. Pour une division aisée 35 du substrat cristallin, il est préférable d'implanter, par exemple, les ions hydrogène à une densité

d'implantation d'environ 5×10^{16} ions/cm² ou plus dans l'étape d'implantation ionique.

La profondeur d'implantation ionique affecte une position de séparation, où le substrat cristallin contenant du silicium à implantation ionique est divisé dans l'étape de division, comme cela sera décrit ultérieurement, et affecte également l'épaisseur de la couche mince cristalline contenant du silicium du produit final. La plus grande profondeur d'implantation ionique augmente l'épaisseur de la couche mince cristalline contenant du silicium.

La profondeur d'implantation ionique peut être accrue en augmentant la tension d'accélération d'ions, comme cela a déjà été décrit. Toutefois, la tension d'accélération d'ions élevée nécessite un dispositif d'implantation ionique à grande échelle. De plus, la tension d'accélération d'ions élevée entraîne un problème d'augmentation excessive d'une température du substrat cristallin contenant du silicium.

Dans le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du premier type selon l'invention, la couche mince cristalline constituée principalement de silicium est formée sur la surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium dans l'étape de croissance épitaxiale réalisée après l'étape d'implantation ionique. Par conséquent, même si la profondeur d'implantation de silicium est relativement faible, la couche mince cristalline contenant du silicium d'une épaisseur relativement élevée peut être finalement obtenue.

Dans l'étape d'implantation ionique, l'implantation ionique est effectuée sur au moins l'une des surfaces du substrat cristallin contenant du silicium. Dans l'étape d'implantation de silicium, l'implantation ionique peut être effectuée sur les surfaces opposées du substrat cristallin contenant du silicium. En effectuant l'implantation ionique sur les

surfaces opposées du substrat cristallin contenant du silicium, les deux couches minces cristallines contenant du silicium peuvent être finalement produites.

(1-2) Etape de formation de vide

5 Dans l'étape de formation de vide, le vide est formé dans la position d'implantation ionique du substrat cristallin en chauffant le substrat cristallin contenant du silicium soumis à l'implantation ionique dans l'étape d'implantation ionique.

10 L'hydrogène ou l'hélium implanté dans le substrat cristallin contenant du silicium se gazéifie lorsqu'il est chauffé. Cette gazéification produit les vides dans la position d'implantation ionique du substrat cristallin.

15 En vue de former le vide, le substrat cristallin peut être chauffé, par exemple, à une température d'environ 350°C à environ 600°C ou plus pendant plusieurs minutes.

(1-3) Etape de croissance épitaxiale

20 Dans l'étape de croissance épitaxiale, la couche mince cristalline (couche mince monocristalline ou polycristalline) constituée principalement de silicium est formée sur la surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium. Par la croissance
25 épitaxiale de la couche mince cristalline constituée principalement de silicium, la couche mince cristalline constituée principalement de silicium est formée sur la surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium.

30 Le substrat cristallin contenant du silicium soumis à l'implantation ionique est immergé dans le liquide métallique fondu contenant du silicium, et le liquide est refroidi de telle sorte que le silicium dans le liquide supersaturé soit déposé sur le substrat
35 cristallin contenant du silicium, et la couche mince cristalline principalement constituée de silicium est formée sur la surface à injection ionique du substrat

crystallin contenant du silicium. Ainsi, par un procédé de croissance en phase liquide, qui est un type de procédé de croissance épitaxiale, la couche mince cristalline principalement constituée de silicium est formée sur la surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium.

En plus du procédé de croissance en phase liquide, un procédé de croissance en phase gazeuse employant un gaz contenant du silane est connu en tant qu'autre type de procédé de croissance épitaxiale. Toutefois, le procédé de croissance en phase liquide est supérieur au procédé de croissance en phase gazeuse en matière de coût et de productivité en masse.

Au moins la surface à injection ionique (c'est-à-dire la surface sur laquelle la couche mince cristalline doit être formée) du substrat cristallin contenant du silicium est immergée dans le liquide métallique fondu de telle sorte que la couche mince cristalline soit formée sur le substrat cristallin. Le substrat cristallin contenant du silicium peut être immergé entièrement dans le liquide métallique fondu.

Dans l'étape d'implantation ionique, l'implantation ionique peut être effectuée sur les surfaces opposées du substrat cristallin contenant du silicium, auquel cas il est simplement nécessaire d'immerger au moins l'une des surfaces à injection ionique dans le liquide métallique fondu. Les deux surfaces à injection ionique peuvent être immergées simultanément dans le liquide métallique fondu, ce par quoi les deux couches minces cristallines contenant du silicium peuvent être finalement produites avec une haute efficacité.

Le liquide métallique fondu dans lequel le substrat cristallin contenant du silicium est immergé peut contenir, en plus du silicium, au moins un type de métal parmi l'indium, le gallium, l'aluminium et le cuivre, et peut contenir deux types ou plus parmi ceux-

ci. En plus du silicium, le liquide métallique fondu dans lequel le substrat cristallin contenant du silicium est immergé peut contenir au moins un type de métal parmi l'indium, le gallium, l'aluminium et le cuivre à un taux
5 total de 10% ou plus en poids.

Le liquide métallique fondu contenant du cuivre favorise la séparation du liquide métallique fondu du substrat cristallin contenant du silicium lorsque le substrat est sorti du liquide métallique fondu.

10 En employant le liquide métallique fondu contenant de l'indium, du gallium ou de l'aluminium, la couche mince cristalline constituée principalement de silicium et formée sur le substrat cristallin peut contenir de l'indium, du gallium ou de l'aluminium en
15 tant que dopant. La couche mince cristalline constituée principalement de silicium et contenant de l'indium, du gallium ou de l'aluminium en tant que dopant, peut présenter des caractéristiques électriques du type "p" ou type "n".

20 Le liquide métallique fondu dans lequel le substrat cristallin contenant du silicium est immergé peut contenir le matériau qui est choisi en fonction des objectifs de la couche mince cristalline contenant du silicium devant être finalement obtenus.

25 Il est préférable de dissoudre une quantité suffisante de silicium dans le liquide métallique fondu dans lequel le substrat cristallin contenant du silicium est destiné à être immergé, en vue de former efficacement la couche mince cristalline contenant du silicium et à
30 d'autres fins. En vue de dissoudre une quantité suffisante de silicium dans le liquide métallique fondu contenant, par exemple, de l'indium, le silicium est dissous à saturation dans le liquide qui est chauffé jusqu'à une température d'environ 800°C à environ 1000°C.

35 Dans le processus de refroidissement du liquide métallique fondu pour y immerger le substrat cristallin

contenant du silicium, la vitesse de diminution de température affecte considérablement la cristallinité de la couche mince cristalline constituée principalement de silicium et formée sur le substrat cristallin. Par exemple, en refroidissant le liquide métallique fondu à une vitesse d'environ 0,1°C/minute à environ 5°C/minute, la couche mince cristalline produite peut présenter une bonne cristallinité.

De cette manière, le substrat cristallin contenant du silicium sur lequel la couche mince cristalline constituée principalement de silicium est formée est retiré du liquide métallique fondu avant que le liquide métallique fondu pour l'immersion soit solidifié.

Après avoir retiré le substrat cristallin contenant du silicium du liquide métallique fondu, le métal qui a été utilisé pour dissoudre le silicium et est laissé sur la couche mince cristalline qui est formée sur le substrat cristallin, peut être éliminé par attaque chimique ou similaire, le cas échéant.

(1-4) Etape de division

Dans l'étape de division, le substrat cristallin contenant du silicium sur lequel la couche mince cristalline constituée principalement de silicium est formée est divisé dans la position de formation de vide (à savoir la position d'implantation ionique).

Par exemple, une force est appliquée sur les surfaces opposées du substrat cristallin contenant du silicium dans lequel les vides sont formés dans une région en forme de couches, dans des directions mutuellement différentes le long de la région en forme de couches des vides. En variante, une force de traction est appliquée perpendiculairement aux surfaces opposées du substrat cristallin contenant du silicium. Ainsi, le substrat cristallin peut être divisé. La portion contenant les vides dans le substrat cristallin présente une faible solidité. Par conséquent, le substrat

cristallin peut être séparé et arraché dans la position de formation de vide le long de la région en forme de couches des vides.

5 Ainsi, la couche mince cristalline contenant du silicium est obtenue. Dans la couche mince cristalline contenant du silicium ainsi obtenue, la couche mince cristalline constituée principalement de silicium est formée par l'étape de croissance épitaxiale sur une couche mince cristalline contenant du silicium qui
10 constituait une portion du substrat cristallin contenant du silicium. L'épaisseur de la portion (la couche mince cristalline contenant du silicium) qui constituait une portion du substrat cristallin contenant du silicium correspond à l'épaisseur de la portion de substrat
15 cristallin depuis la surface à injection ionique jusqu'à la position d'implantation ionique (position de formation de vide).

L'autre portion du substrat cristallin contenant du silicium peut être réutilisée dans le procédé suivant
20 de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium, si cela est permis au vu de son épaisseur.

(1-5) Dans le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du premier type, le chauffage du substrat cristallin en vue de former les
25 vides dans l'étape de formation de vide est réalisé en immergeant le substrat cristallin dans le liquide métallique fondu utilisé dans l'étape de croissance épitaxiale. Ceci va à présent être décrit plus en détail.

Dans l'étape de croissance épitaxiale, il est
30 nécessaire de chauffer le liquide métallique fondu, par exemple, à une première température prédéterminée en vue de dissoudre une quantité suffisante de silicium dans le liquide métallique fondu, comme cela a été déjà décrit. Si le liquide métallique fondu contient, par exemple, de
35 l'indium, la première température est comprise dans une gamme, par exemple, d'environ 800°C à environ 1000°C. Dans l'étape de croissance épitaxiale, il est nécessaire

de refroidir le liquide métallique fondu depuis la première température jusqu'à une deuxième température prédéterminée (par exemple d'environ 350°C) qui ne provoque pas une solidification du métal, en vue de
5 déposer le silicium. Lorsque le liquide métallique fondu refroidi jusqu'à la deuxième température est destiné à être utilisé pour former la couche mince cristalline sur un autre substrat cristallin contenant du silicium, il est nécessaire de chauffer à nouveau le liquide
10 métallique fondu jusqu'à la première température. Par exemple, le liquide métallique fondu est chauffé de 350°C à 800°C, et est ensuite refroidi de 800°C à 350°C. Dans ce cas, même l'opération consistant uniquement à refroidir le liquide métallique fondu nécessite 90
15 minutes si la vitesse de refroidissement est de 5°C/minute ou moins en vue d'obtenir de bons cristaux. Pour chauffer le liquide métallique fondu de 350°C à 800°C, plusieurs minutes sont nécessaires, bien que le temps requis dépende des performances et autres du
20 dispositif de chauffage.

Dans l'étape de formation de vide, le substrat cristallin contenant du silicium soumis à l'implantation ionique doit être chauffé à la température de 350° - 600°C, par exemple, pendant plusieurs minutes en vue de
25 former les vides, comme cela a été déjà décrit.

En conséquence, le substrat cristallin peut être réglé à la température requise pour la formation de vide en immergeant le substrat cristallin soumis à l'implantation ionique dans le liquide métallique fondu
30 dans l'étape de croissance épitaxiale. Le substrat cristallin soumis à l'implantation ionique peut être immergé dans le liquide métallique fondu pendant que le liquide métallique fondu est chauffé ou refroidi. Si le substrat cristallin est immergé dans le liquide
35 métallique fondu après que l'on a commencé le refroidissement du liquide métallique fondu, la formation des vides peut être réalisée simultanément à la formation

de la couche mince par dépôt. En résumé, il est simplement nécessaire d'immerger le substrat cristallin pendant une période requise dans le liquide métallique fondu à la température requise pour la formation de vide.

5 Par exemple, dans le cas où le substrat cristallin est immergé dans le liquide métallique fondu en vue de former les vides pendant que le liquide métallique fondu est chauffé, il est possible de commencer l'immersion du substrat cristallin dans le
10 liquide métallique fondu lorsque le liquide métallique fondu est à une température inférieure à la température requise pour la formation de vide. Par exemple, dans le cas où le substrat cristallin est immergé dans le liquide métallique fondu en vue de former les vides pendant qu'il
15 est chauffé, on peut employer une méthode telle que le substrat cristallin soit maintenu à la température requise pour la formation de vide pendant la période requise, et soit alors retiré temporairement du liquide métallique fondu. En variante, le substrat cristallin
20 peut être maintenu dans le liquide métallique fondu jusqu'à l'achèvement de la formation de la couche mince cristalline sur le substrat cristallin.

Conformément au procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du premier type,
25 l'étape de formation de vide peut être partiellement ou entièrement réalisée parallèlement à l'étape de croissance épitaxiale. Durant la mise en œuvre dans l'étape de croissance épitaxiale, on peut réaliser le processus de formation de vide. Il n'est pas nécessaire
30 d'employer un dispositif de chauffage spécialisé pour le chauffage du substrat cristallin en vue de la formation de vide. En conséquence, la couche mince cristalline contenant du silicium peut être formée efficacement tout en ne nécessitant qu'une courte période et peu d'étapes.
35 Ainsi, la couche mince cristalline contenant du silicium peut être fabriquée avec un faible coût.

Conformément au procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du premier type, les vides sont formés en immergeant le substrat cristallin dans le liquide métallique fondu. Par conséquent, une pression peut être appliquée sur la surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium pendant que le substrat cristallin est chauffé en vue de la formation de vide.

Si la pression n'était pas appliquée sur la surface à injection ionique du substrat cristallin durant le chauffage du substrat cristallin en vue de la formation de vide, une pression de gaz causée par la gazéification des ions implantés entraînerait un arrachement partiel de la couche superficielle sur la face à injection ionique du substrat cristallin, et il se formerait par conséquent des trous en forme de cratères d'environ plusieurs micromètres ou moins de diamètre sur la surface à injection ionique.

Par contraste, conformément au procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du premier type, le substrat cristallin peut être chauffé pour la formation de vide tout en immergeant le substrat cristallin dans le liquide métallique fondu et en appliquant ainsi une pression sur la surface à injection ionique, comme cela a été déjà décrit. Par conséquent, l'arrachement partiel peut être supprimé. Il est possible d'appliquer la pression sur la surface à injection ionique durant la formation de vide sans nécessiter de dispositif ou similaire pour appliquer la pression sur la surface à injection ionique. Ceci permet la formation des vides avec un faible coût, et permet donc la formation de la couche mince cristalline contenant du silicium avec un faible coût.

(1-6) Le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du premier type peut en outre comprendre une étape de collage consistant à coller

un substrat de support à la couche mince cristalline formée dans l'étape de croissance épitaxiale.

Par l'étape de collage, il est possible de procurer une structure telle que la couche mince cristalline, qui est formée dans l'étape de croissance épitaxiale et est constituée principalement de silicium, et la couche mince cristalline, qui faisait partie du substrat cristallin contenant du silicium, soient formées successivement sur le substrat de support.

L'adhésion de la couche mince cristalline et du substrat de support dans l'étape de collage peut être réalisée, par exemple, par un adhésif. L'adhésion entre la couche mince cristalline et le substrat de support peut être réalisée en les chauffant à une température élevée après les avoir fait se chevaucher.

L'étape de collage peut être réalisée, par exemple, après l'étape de division. De manière plus spécifique, la couche mince cristalline contenant du silicium qui est obtenue dans l'étape de division, peut être collée au substrat de support. En réalisant l'adhésion avec l'adhésif dans le cas ci-dessus, le substrat de support n'est pas soumis à une température élevée. Par conséquent, le substrat de support ayant un faible point de ramollissement peut être réalisé, et le substrat de support peut être choisi parmi une gamme relativement large. Par exemple, le substrat de support peut être formé d'un substrat en verre constitué, par exemple, d'un verre à base de soude ayant un point de ramollissement relativement faible.

L'étape de collage peut être réalisée après l'étape de croissance épitaxiale et avant l'étape de division. Le substrat de support peut être collé à la couche mince cristalline après avoir formé la couche mince cristalline sur le substrat cristallin contenant du silicium dans l'étape de croissance épitaxiale, ou après avoir retiré le métal qui était utilisé pour dissoudre le silicium, sur la couche mince cristalline, le cas

échéant. Cette adhésion peut être réalisée avec l'adhésif, le substrat de support pouvant être choisi parmi une gamme relativement large, de manière similaire au cas précédent.

5 (2) Procédé de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type

Un procédé de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type comprend:

10 une étape d'implantation ionique consistant à implanter des ions hydrogène ou des ions hélium dans un substrat cristallin contenant du silicium constitué principalement de silicium;

15 une étape de formation de film consistant à former un film prédéterminé sur une surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium;

20 une étape de formation de vide consistant à former un vide dans une position d'implantation ionique du substrat cristallin en chauffant le substrat cristallin pourvu du film; et

une étape de division consistant à diviser le substrat cristallin dans la position de formation de vide.

25 L'étape de formation de film est réalisée en vue de procurer une épaisseur de 2 μm ou plus d'une surface du film à la position d'implantation ionique.

30 Le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type peut en outre comprendre une étape de collage du substrat de support, qui sera décrite ultérieurement, de telle sorte que la couche mince cristalline contenant du silicium puisse être formée sur le substrat de support. Le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type peut être utilisé pour
35 fabriquer une pile solaire ou similaire, au quel cas une couche mince ayant une structure PN ou une structure «npp⁺» peut être formée sur le substrat de support.

Conformément au procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type, une couche mince monocristalline en carbure de silicium, qui est utilisée, par exemple, dans un dispositif d'alimentation électrique, peut être formée sur le substrat de support. Le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type peut également former un substrat SOI (silicium sur isolant).

Le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type comprend l'étape d'implantation ionique, l'étape de formation de film, l'étape de formation de vide et l'étape de division. De manière similaire au procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du premier type, le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type emploie ce que l'on appelle un procédé d'arrachement (de séparation) à implantation ionique. Les étapes respectives vont à présent être décrites plus en détail.

(2-1) Etape d'implantation ionique

Dans l'étape d'implantation ionique, les ions hydrogène ou hélium sont implantés dans le substrat cristallin contenant du silicium constitué principalement de silicium. L'implantation ionique est réalisée en tant que prétraitement pour le processus de formation des vides dans le substrat cristallin contenant du silicium dans l'étape de formation de vide qui sera décrite ultérieurement.

Le contenu déjà décrit en relation avec l'étape d'implantation ionique dans la section (1-1) peut être essentiellement vrai également en ce qui concerne l'étape d'implantation ionique dans le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type.

(2-2) Etape de formation de film

Dans l'étape de formation de film, on forme un ou plusieurs film(s) prédéterminé(s) sur le substrat cristallin contenant du silicium.

5 L'étape de formation de film est réalisée après l'étape d'implantation ionique et avant l'étape de formation de vide qui sera décrite ultérieurement.

Dans l'étape de formation de film, un film prédéterminé est formé sur la surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium.

10 Avant l'étape d'implantation ionique (et par conséquent avant l'étape de formation de film), un film tel qu'un film d'oxyde thermique peut être formé sur le substrat cristallin contenant du silicium. Même dans le cas où la formation de film est déjà effectuée sur le
15 substrat cristallin contenant du silicium avant l'étape d'implantation ionique et l'étape de formation de film, comme décrit ci-dessus, le film prédéterminé est formé sur la surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium, comme décrit ci-dessus. Dans ce
20 cas, si l'implantation ionique est effectuée sur la face du film (par exemple un film d'oxyde thermique ou similaire) qui est formée sur le substrat cristallin contenant du silicium avant l'implantation ionique, le film prédéterminé est en outre formé sur la surface
25 (surface à injection ionique) du film qui est formée avant l'étape d'implantation ionique, dans l'étape de formation de film.

Ainsi, le film prédéterminé formé dans l'étape de formation de film est le film qui est formé après l'étape
30 d'implantation ionique et est formé sur la surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium.

Dans l'étape de formation de film, un procédé DCV (dépôt chimique en phase vapeur), un procédé
35 d'application de pâte ou similaire peut être mis en œuvre pour former le film.

Par exemple, dans l'étape de formation de film, un film isolant peut être formé sur le substrat cristallin contenant du silicium. Le film isolant peut être un film de SiO₂.

5 Dans l'étape de formation de film, un film électriquement conducteur peut être formé sur le substrat cristallin contenant du silicium. Le film électriquement conducteur peut être constitué principalement d'aluminium, par exemple. Le film conducteur peut être
10 utilisé, par exemple, en tant qu'électrode.

(2-3) Etape de formation de vide

Dans l'étape de formation de vide, le substrat cristallin contenant du silicium sur lequel le film est formé dans l'étape de formation de film, est chauffé en
15 vue de former les vides dans la position d'implantation ionique dans le substrat cristallin.

Le contenu déjà décrit en relation avec l'étape de formation de vide dans la section (1-2) ci-dessus peut être essentiellement vrai également en ce qui concerne
20 l'étape de formation de vide dans le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type.

(2-4) Etape de division

Dans l'étape de division, le substrat cristallin
25 contenant du silicium est divisé dans la position de formation de vide.

Ceci procure la couche mince cristalline contenant du silicium dans laquelle le film formé dans l'étape de formation de film est formé sur une couche
30 mince cristalline, qui constituait une portion du substrat cristallin contenant du silicium et est constituée principalement de silicium.

Le contenu déjà décrit en relation avec l'étape de division dans la section (1-4) ci-dessus peut être
35 essentiellement vrai également en ce qui concerne l'étape de division dans le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type.

(2-5) Dans le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type, l'étape de formation de film est exécutée en vue de former le film sur la surface à injection ionique, de manière à procurer une épaisseur de 2 μm ou plus depuis la surface du film jusqu'à la position d'implantation ionique. L'étape de formation de film est réalisée après l'étape d'implantation ionique et avant l'étape de formation de vide, comme cela a déjà été décrit.

10 Ainsi, la surface à injection ionique du substrat cristallin est pressée par le film qui est formé sur la surface à injection ionique dans l'étape de formation de film, lorsque les vides sont formés dans le substrat cristallin contenant du silicium dans l'étape de formation de vide. Par conséquent, il est possible de supprimer l'arrachement de portions infimes de la couche superficielle sur la face de la surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium dans l'étape de formation de vide. L'arrachement partiel peut être supprimé sans nécessiter de moyens spécialisés pour presser la surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium. Le film formé dans l'étape de formation de film est utilisé en tant que moyen de pression en vue d'appliquer une pression sur la surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium de telle sorte que l'arrachement partiel puisse être supprimé.

 Même s'il y a une particule sur la surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium, le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type peut supprimer l'arrachement infime du substrat cristallin durant la formation des vides, comme décrit ci-dessous.

 Si le procédé suivant, qui est différent du procédé du deuxième type, est employé pour former des vides tout en pressant la surface à injection ionique, un arrachement infime ou similaire est susceptible de se

produire dans le substrat cristallin. De manière plus spécifique, si un deuxième substrat est directement placé sur la surface à injection ionique en vue d'appliquer une pression sur la surface à injection ionique par le

5 deuxième substrat durant la formation de vide, un arrachement infime ou des craquelures sont susceptibles de se produire lorsque des particules sont présentes sur la surface à injection ionique et, en d'autres termes, entre le substrat cristallin et le deuxième substrat.

10 Ceci est probablement causé par les faits que la position d'implantation ionique n'est habituellement espacée de la surface sur la face à injection ionique du substrat cristallin que d'une faible distance (profondeur d'implantation ionique) d'environ 1 μm , et que la

15 particule produit une portion sur la surface à injection ionique qui n'est pas pressée par le deuxième substrat.

Par contraste, le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type peut remédier au problème ci-dessus comme

20 suit. Même si des particules sont présentes sur la surface à injection ionique du substrat cristallin contenant du silicium, les particules peuvent être enterrées dans le film qui est formé sur la surface à injection ionique, par exemple, par un procédé DCV ou un

25 procédé d'application de pâte dans l'étape de formation de film. Ainsi, même si les particules sont présentes, l'arrachement infime peut être supprimé en maintenant une distance de 2 μm ou plus entre la surface du film et la position d'implantation ionique, bien que les particules

30 puissent entraîner de petites irrégularités sur la surface du film. En enterrant les particules dans le film formé sur la surface à injection ionique, une portion qui n'est pas pressée contre la surface à injection ionique n'est pas formée, si bien que l'arrachement infime peut

35 être supprimé.

Conformément au procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type,

des défauts traditionnels ne sont donc pas causés et la couche mince cristalline contenant du silicium ayant des fonctions souhaitées peut être formée même si les particules, dont la quantité n'est pas excessivement grande, sont présentes sur la surface à injection ionique. Même si les particules sont présentes sur la surface à injection ionique, la couche mince cristalline contenant du silicium produite par le procédé présente pas de défaut inacceptable par opposition à l'art antérieur. Par conséquent, la couche mince cristalline contenant du silicium peut être formée avec une productivité élevée et un faible coût. La couche mince cristalline contenant du silicium ayant les fonctions souhaitées peut être formée même dans un milieu de propreté relativement faible (par exemple dans une salle blanche d'une propreté relativement faible). Ceci permet également la formation peu coûteuse de la couche mince cristalline contenant du silicium.

(2-6) Le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type peut en outre comprendre une étape de collage consistant à coller le substrat de support au film formé dans l'étape de formation de film.

Par l'étape de collage, il est possible de procurer une structure dans laquelle le film prédéterminé formé dans l'étape de formation de film et une couche mince cristalline qui constituait une portion du substrat cristallin contenant du silicium sont formés successivement sur le substrat de support. Dans l'étape de formation de film, un film isolant (par exemple un film de SiO_2) peut être formé, grâce à quoi il est possible de procurer ce que l'on appelle un substrat SOI (silicium sur isolant), dans lequel le film isolant et le film constitué principalement de silicium sont formés successivement sur le substrat de support. Dans l'étape de formation de film, un film électriquement conducteur (par exemple un film d'aluminium), destiné à être utilisé

en tant qu'électrode, peut être formé dans l'étape de formation de film, grâce à quoi il est possible de procurer une structure dans laquelle l'électrode et le film constitué principalement de silicium sont formés successivement sur le substrat de support.

L'adhésion entre le film prédéterminé et le substrat de support peut être réalisée avec un adhésif dans l'étape de collage. L'adhésion entre le film et le substrat de support peut être réalisée en les chauffant à une température élevée après les avoir fait se chevaucher.

L'étape de collage peut être réalisée, par exemple, après l'étape de division. De manière plus spécifique, la couche mince cristalline contenant du silicium obtenue dans l'étape de division peut être collée au substrat de support. Dans ce cas, un adhésif peut être utilisé pour l'adhésion, grâce à quoi le substrat de support n'est pas soumis à une température élevée si bien que même un substrat de support ayant un faible point de ramollissement peut être employé, et le substrat de support peut être choisi parmi une gamme relativement large. Par exemple, le substrat de support peut être formé d'un substrat en verre constitué, par exemple, d'un verre à base de soude ayant un point de ramollissement relativement faible.

L'étape de collage peut être réalisée après l'étape de formation de vide et avant l'étape de division. Cette adhésion peut être réalisée avec l'adhésif, le substrat de support pouvant être choisi parmi une gamme relativement large, de manière similaire au cas précédent.

L'étape de collage peut être réalisée après l'étape de formation de film et avant l'étape de formation de vide. Dans ce cas, le substrat de support est soumis, conjointement avec le substrat cristallin, à une température élevée pour la formation de vide. Par

conséquent, on emploie le substrat de support qui est résistant à une telle température élevée.

(2-7) Dans le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type, le film formé dans l'étape de formation de film peut être un film électriquement conducteur, comme cela a été déjà décrit. Le film électriquement conducteur peut être constitué principalement d'aluminium, par exemple, et une étape de chauffage peut être en outre réalisée en vue de chauffer le substrat cristallin contenant du silicium pourvu de ce film conducteur à une température de 500°C ou plus pendant une ou plusieurs heures. Par cette étape de chauffage, une couche P⁺ peut être formée par diffusion thermique d'aluminium si le substrat cristallin est formé d'un substrat en silicium de type P. Ainsi, on peut former une couche mince d'une structure comprenant une couche "pp⁺" et une couche d'électrode. Après l'étape de division, un dopant de type "n" en phosphore ou similaire peut être diffusé depuis la face de la surface de séparation (surface d'arrachement) du substrat cristallin contenant du silicium en vue de former une couche de type "n", grâce à quoi il est possible de former la couche mince d'une structure ayant une couche "npp⁺" et une couche d'électrode.

Si le substrat cristallin contenant du silicium est chauffé à une température de 500°C ou plus pendant une ou plusieurs heures, l'aluminium peut être diffusé dans le silicium et les vides peuvent être formés. En conséquence, le chauffage dans l'étape de chauffage et le chauffage en vue de la formation de vide dans l'étape de formation de vide peuvent être réalisés simultanément dans une seule étape.

Plusieurs exemples du procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium vont à présent être décrits en se référant aux dessins.

(1) La figure 1(A) est une coupe transversale schématique d'un exemple d'une couche mince cristalline

contenant du silicium qui peut être formée par le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du premier type décrit précédemment.

5 Une couche mince cristalline contenant du silicium F1 illustrée à la figure 1(A) est formée d'une couche mince en silicium monocristalline 11 et d'une couche mince en silicium monocristalline 21 stratifiées l'une sur l'autre.

10 Comme illustré à la figure 1(B), la couche mince cristalline contenant du silicium F1 peut être formée sur un substrat de support 5. Le substrat de support 5 peut être un substrat en verre, un substrat en silicium ou similaire.

15 Un procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium F1 va être à présent décrit ci-dessous en se référant à un schéma de diagramme de la figure 2.

20 Tout d'abord, un substrat en silicium monocristallin 1 est préparé. Dans cet exemple, le substrat cristallin 1 est en forme de plaquette.

25 Ensuite, les ions hydrogène sont implantés dans les surfaces opposées du substrat en silicium monocristallin 1 (voir l'étape (A) à la figure 2). Dans cet exemple, des ions hydrogène négatifs sont implantés dans le substrat cristallin 1 avec une tension d'accélération de 20 kV. Ainsi, les ions hydrogène sont implantés à des positions à une profondeur d'environ 0,2 μm à partir des surfaces opposées du substrat cristallin 1, respectivement. Dans cet exemple, les ions hydrogène négatifs sont implantés de telle sorte que la
30 profondeur d'implantation ionique puisse être fixée uniformément sans nécessiter une séparation massive. Le but d'implanter les ions hydrogène sur les surfaces opposées du substrat cristallin 1 est d'obtenir
35 finalement les deux couches minces cristallines contenant du silicium F1 simultanément. Les ions hydrogène sont implantés à une densité d'implantation d'environ 5×10^{16}

ions/cm² ou plus pour faciliter la séparation (division) du substrat cristallin 1 dans une étape ultérieure.

Au lieu des ions hydrogène, des ions hélium peuvent être implantés dans le substrat cristallin bien que la tension d'accélération en vue d'obtenir la même profondeur d'implantation doive être supérieure à celle pour les ions hydrogène.

Ensuite, le substrat en silicium monocristallin à implantation ionique 1 ainsi qu'une fine poudre d'indium et une fine poudre de silicium sont placés à l'intérieur d'une barque 81 en carbone, et sont chauffés. Lorsque la température dépasse un point de fusion (environ 157°C) de l'indium, la poudre d'indium fond progressivement en recouvrant la surface totale du substrat cristallin 1 par l'indium liquide (voir l'étape (B) à la figure 2). Lorsque la température augmente davantage, le silicium est dissous progressivement dans l'indium liquide. Etant donné que le point de fusion du silicium est supérieur à 1400°C, le silicium ne fond pas lorsque le silicium est seulement chauffé à une température inférieure à 1000°C. Toutefois, le silicium peut être dissous à une température relativement faible en chauffant le silicium conjointement avec du métal tel que l'indium. Le liquide ainsi préparé est chauffé jusqu'à environ 800°C - 1000°C de telle sorte que le silicium soit dissous à saturation. De cette manière, le substrat cristallin total 1 est immergé dans le liquide ou le liquide contenant du silicium et de l'indium, et est ainsi chauffé. Ensuite, le liquide contenant du silicium et de l'indium est refroidi à une vitesse de 0,1°C/minute - 5°C/minute.

Durant ce chauffage et refroidissement, le substrat en silicium monocristallin à implantation ionique 1 est chauffé à une température d'environ 350°C - 600°C pendant plusieurs minutes. Il se forme ainsi un grand nombre de vides 15 dans des régions en forme de couches à des positions d'implantation ionique 13 et 14 du substrat cristallin 1 (voir l'étape (C) à la

Figure 2). L'hydrogène implanté dans le substrat cristallin 1 est gazéifié par la chaleur de telle sorte que les vides 15 soient formés. Les vides 15 ainsi formés réduisent la résistance du substrat cristallin 1 dans la position de formation de vide.

En refroidissant le liquide dans lequel le silicium est dissous à saturation, le silicium dans le liquide supersaturé est déposé sur la surface du substrat en silicium monocristallin 1. Ainsi, il se forme un film en silicium monocristallin 4 sur la surface du substrat en silicium monocristallin 1 comprenant les surfaces à injection ionique. Le film en silicium monocristallin 4 est formé par croissance épitaxiale du silicium monocristallin sur le substrat 1 en silicium monocristallin. Ainsi, le film en silicium monocristallin 4 est formé par un procédé de croissance en phase liquide qui est un type de procédé de croissance épitaxiale.

Dans cet exemple, le substrat cristallin 1 est placé dans la barque en carbone 81 contenant l'indium et le silicium avant que l'indium et le silicium soient fondus ou dissous. En variante, le substrat cristallin peut être immergé dans le liquide d'indium après que l'indium a fondu en vue de former le liquide.

Comme cela a été déjà décrit, le liquide est refroidi à une vitesse de $0,1^{\circ}\text{C}/\text{minute}$ - $5^{\circ}\text{C}/\text{minute}$, grâce à quoi on peut former le film en silicium monocristallin 4 ayant une bonne cristallinité.

Ensuite, le substrat cristallin 1 sur lequel le film en silicium monocristallin 4 est formé est retiré du liquide avant que l'indium se solidifie. En fonction du moment de retrait du substrat cristallin 1 du liquide, il est possible de réguler l'épaisseur du film en silicium monocristallin 4 destiné à être formé par la croissance épitaxiale. Par la croissance épitaxiale, l'épaisseur du film en silicium monocristallin 4 peut être accrue à plusieurs dizaines de micromètres. En réalisant l'opération de croissance épitaxiale une seule fois, et

de manière plus spécifique, en réalisant une seule opération de dépôt du silicium en refroidissant le liquide, il se peut que la croissance du film en silicium monocristallin 4 ne se fasse pas à une épaisseur requise, auquel cas l'étape de croissance épitaxiale est réalisée deux fois ou plus.

Ensuite, une attaque chimique est réalisée en vue d'éliminer l'indium superflu sur la surface du film en silicium monocristallin 4.

10 Puis une force de traction est appliquée perpendiculairement aux surfaces opposées du substrat cristallin 1 pourvu du film en silicium monocristallin 4 (voir l'étape (D) à la Figure 2). Dans cet exemple, des mandrins électrostatiques 821 et 822 sont utilisés pour
15 tirer les surfaces opposées du substrat cristallin 1. Ainsi, le substrat cristallin 1 est séparé ou divisé dans chacune des positions du substrat cristallin 1 où les vides 15 sont formés (voir l'étape (E) à la Figure 2). Dans cet exemple, les ions hydrogène sont injectés à
20 travers les surfaces opposées du substrat cristallin 1, comme cela a été déjà décrit. Par conséquent, les vides 15 sont formés dans les deux positions du substrat cristallin 1 de sorte que le substrat cristallin 1 puisse être divisé en trois.

25 Ainsi, les étapes ci-dessus procurent le film en silicium monocristallin F1 formé du film en silicium monocristallin 11, qui constituait une portion du substrat en silicium monocristallin 1, et du film en silicium monocristallin 41 stratifiés l'un sur l'autre.
30 De plus, les étapes ci-dessus procurent le film en silicium monocristallin F1 formé du film en silicium monocristallin 12, qui constituait une portion du substrat en silicium monocristallin 1, et du film en silicium monocristallin 42 stratifiés l'un sur l'autre.
35 Etant donné que l'injection ionique est effectuée sur les surfaces opposées du substrat cristallin 1, les deux films en silicium monocristallin F1 sont obtenus

simultanément. Chacune des portions de film monocristallin 11 et 12, qui faisaient partie ou constituaient des portions du substrat en silicium monocristallin 1, du film en silicium monocristallin F1 présente l'épaisseur correspondant essentiellement à la profondeur d'implantation ionique dans l'opération d'implantation ionique. Une portion restante du substrat en silicium monocristallin 16 sera utilisée pour former le film en silicium monocristallin F1 dans le processus suivant.

Après avoir formé le film en silicium monocristallin F1, le film F1 peut être collé au substrat de support 5 en vue de former le film en silicium monocristallin F1 sur le substrat de support 5 (étape (F) à la Figure 2). Le film en silicium monocristallin F1 peut être collé au substrat de support 5 par un adhésif. Après chevauchement du film en silicium monocristallin F1 par le substrat de support 5, ceux-ci peuvent être chauffés à une température élevée en vue de les coller. Si l'adhésif est utilisé pour coller le film en silicium monocristallin F1 et le substrat de support 5 l'un à l'autre, un substrat tel qu'un substrat en verre à base de soude, qui présente une résistance thermique relativement faible et est donc peu coûteux, peut être employé en tant que substrat de support 5. Si le film en silicium monocristallin F1 doit être collé au substrat de support 5 par chauffage, un substrat tel qu'un substrat en silicium ayant une résistance thermique suffisante, qui est appliqué pour l'adhésion, est employé en tant que substrat de support 5.

Le film en silicium monocristallin F1 peut être formé sur le substrat de support 5 de la manière suivante. Le substrat en silicium monocristallin 1 pourvu du film en silicium monocristallin 4 est retiré du liquide, et l'indium est éliminé de la surface du film en silicium monocristallin 4. Ensuite, le substrat de support 5 est collé aux surfaces des films en silicium

monocristallin 41 et 42 (voir l'étape (G) à la Figure 2).
Puis le substrat cristallin 1 est divisé ou séparé dans
les positions de formation de vide de telle sorte que les
structures ayant chacune le film en silicium
5 monocristallin F1 formé sur le substrat du support 5
soient produites (voir l'étape (F) à la Figure 2).

Le cas échéant, les surfaces de séparation des
films en silicium monocristallin 11 et 12 peuvent être
aplaties, par exemple par polissage. Après avoir collé le
10 film en silicium monocristallin F1 au substrat de support
5, la portion de film en silicium monocristallin 11 (12),
qui faisait partie du substrat en silicium
monocristallin, peut être éliminée par attaque chimique
ou similaire. Même si la portion de film en silicium
15 monocristallin 11 (12) est éliminée de cette manière, le
film en silicium monocristallin 41 (42) qui a été formé
dans l'étape de croissance épitaxiale, est laissé sur le
substrat de support 5. De manière plus spécifique, seul
le film en silicium monocristallin 41 (42) de haute
20 qualité, ne présentant aucun défaut d'implantation
ionique, est laissé sur le substrat de support 5.

Conformément au procédé de formation de la couche
mince cristalline contenant du silicium du premier type
décrit ci-dessus, le film en silicium monocristallin F1
25 d'une épaisseur relativement élevée peut être obtenu sans
réaliser l'implantation d'ions hydrogène à la position
profonde dans l'étape d'implantation ionique, dans la
mesure où le film en silicium monocristallin 4 est formé
dans l'étape de croissance épitaxiale. Par conséquent, il
30 n'est pas nécessaire d'augmenter la tension
d'accélération dans une large mesure dans l'opération
d'implantation ionique, et l'implantation ionique peut
être réalisée par un dispositif d'accélération d'ions
ordinaire d'une échelle relativement faible. Etant donné
35 que la tension d'accélération peut être relativement
faible, il est possible de supprimer une augmentation
excessive de la température du substrat cristallin 1 dans

l'opération d'implantation ionique. Etant donné qu'il n'est pas nécessaire d'augmenter la tension d'accélération, il n'est pas nécessaire de restreindre un courant de faisceau ionique, et les ions peuvent être
5 implantés efficacement en vue d'obtenir une densité requise.

Conformément au procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium décrite ci-dessus, l'étape de formation de vide consistant à former
10 les vides 15 dans le substrat cristallin 1 peut être réalisée parallèlement à l'étape de croissance épitaxiale consistant à former la couche mince en silicium monocristallin 4. Il n'est pas nécessaire d'employer un dispositif de chauffage spécialisé pour la formation de
15 vide. En conséquence, le film en silicium monocristallin F1 peut être produit en l'espace d'une courte période et avec un faible nombre d'étapes, et peut ainsi être produit avec une haute efficacité. Ceci réduit le coût de fabrication de la couche mince en silicium monocristallin
20 F1.

Lorsque le liquide contenant le silicium et l'indium dans la barque de silicium 81 est destiné à être utilisé pour la prochaine formation de la couche mince en silicium monocristallin, il est nécessaire de chauffer à
25 nouveau le liquide refroidi jusqu'à la température d'environ 800°C - 1000°C en vue de dissoudre une quantité suffisante de silicium. Durant le chauffage du liquide en vue de dissoudre suffisamment le silicium, le substrat cristallin suivant peut être chauffé en vue de former les
30 vides. Dans l'opération de formation successive des films en silicium monocristallin F1, la formation de film peut être réalisée efficacement de la manière ci-dessus.

Conformément au procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium décrit ci-dessus,
35 les vides 15 sont formés en immergeant le substrat cristallin total 1 dans le liquide. Par conséquent, une pression peut être appliquée sur la surface à injection

ionique du substrat cristallin 1 lors du chauffage du substrat cristallin 1 en vue de former les vides 15. Ainsi, il est possible de supprimer la formation de portions infimes arrachées en forme de cratères dans la portion de surface à injection ionique du substrat cristallin 1 durant la formation des vides. L'arrachement infime peut être supprimé sans préparer de moyen de pressage spécialisé pour l'application de la pression sur la surface à injection ionique du substrat cristallin 1.

5
10 (2) La Figure 3(A) est une coupe transversale schématique illustrant un exemple de couche mince cristalline contenant du silicium qui peut être formée par le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type.

15 Une couche mince cristalline contenant du silicium F2 illustrée à la Figure 3(A) est formée d'un film en silicium monocristallin 221, d'un film isolant en SiO₂ 21 et d'un film isolant en SiO₂ 6 stratifiés l'un sur l'autre. Ainsi, la couche mince cristalline contenant du silicium F2 est formée d'un film en silicium monocristallin 221 ainsi que des films isolants, qui sont les films en SiO₂ 21 et 6, stratifiés l'un sur l'autre.

20 Comme illustré à la Figure 3(B), la couche mince cristalline contenant du silicium F2 peut être formée sur le substrat de support 5. Ainsi, on peut former ce que l'on appelle un substrat SOI (silicium sur isolant).

25 Le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium F2 va à présent être décrit en se référant à un schéma des étapes de la Figure 4.

30 Tout d'abord, on prépare un substrat en silicium monocristallin 2 (voir l'étape (A) à la Figure 4). Dans cet exemple, le substrat cristallin préparé 2 est en forme de plaquette.

35 Ensuite, un film d'oxyde thermique (film de SiO₂) 21 est formé au niveau de la couche superficielle sur une face du substrat cristallin contenant du silicium 2 (voir

l'étape (B) à la Figure 4). Dans cet exemple, le film en SiO₂ 21 présente une épaisseur de 0,9 µm. Ainsi, une structure comprenant le film en SiO₂ 21 et le film en silicium monocristallin 22 stratifiés l'un sur l'autre est formée.

Puis des ions hydrogène sont implantés dans le substrat en silicium monocristallin 2 depuis le côté du film en SiO₂ 21 (voir l'étape (C) à la Figure 4). Dans cet exemple, des ions hydrogène négatifs sont implantés avec une tension d'accélération de 100 kV. Les ions hydrogène sont ainsi implantés à la position d'une profondeur d'environ 1,0 µm depuis la surface (surface à injection ionique) du film en SiO₂ 21. Les ions hydrogène sont implantés à une densité d'environ 5 x 10¹⁶ ions/cm² ou plus.

Puis le film en SiO₂ 6 est formé sur la surface à injection ionique du substrat 2, et de manière plus spécifique, sur le film en SiO₂ 21 préparé par l'oxydation thermique (voir l'étape (D) à la Figure 4). Dans cet exemple, le film en SiO₂ 6 est formé par un procédé DCV dans le milieu à 350°C ou moins. Dans cet exemple, le film en SiO₂ 6 présente une épaisseur de 1,0 µm. Ainsi, le film en SiO₂ 6 est formé sur le substrat cristallin 2 de telle sorte qu'une distance T de 2 µm ou plus soit maintenue entre la surface du film 6 et la position d'implantation ionique 23 (voir la Figure 5). La raison pour procurer le film en SiO₂ 6 d'épaisseur ci-dessus sera décrite ultérieurement.

Ensuite, le substrat cristallin 2 pourvu du film en SiO₂ 6 est chauffé en vue de former des vides 24 dans la position d'implantation ionique du substrat cristallin 2 (voir l'étape (E) à la Figure 4). Dans cet exemple, le substrat cristallin 2 est chauffé à 350°C pendant 10 minutes en vue de former les vides 24.

Ensuite, le substrat cristallin 2 est séparé ou divisé dans la position où les vides 24 sont formés, grâce à quoi on obtient la couche mince cristalline

contenant du silicium F2. La couche mince cristalline contenant du silicium F2 est formée de la structure stratifiée comprenant le film en silicium monocristallin 221, qui constituait une portion du substrat en silicium monocristallin 2, du film en SiO₂ 21 formé par l'oxydation thermique et du film en SiO₂ 6 formé par le procédé DCV.

Après avoir formé la couche mince cristalline contenant du silicium F2, le substrat de support 5 est collé au film en SiO₂ 6 de la couche mince F2 de telle sorte que la couche mince F2 puisse être formée sur le substrat de support 5 (voir l'étape (G) à la Figure 4). Ainsi, ce que l'on appelle un substrat SOI, dans lequel le film en silicium monocristallin 221 ainsi que les films isolants (c'est-à-dire les films en SiO₂ 21 et 6) sont formés sur le substrat de support 5, est achevé. Le substrat de support 5 et la couche mince F2 (film en SiO₂ 6) peuvent être collés l'un à l'autre par un adhésif, ou peuvent être collés l'un à l'autre en les chauffant. Le substrat de support 5 et la couche mince F2 peuvent être collés l'un à l'autre en les chauffant à environ 1100°C pendant une heure ou plus après les avoir fait se chevaucher. De manière similaire au cas précédent, un substrat présentant une faible résistance thermique et donc peu coûteux peut être utilisé en tant que substrat de support si le substrat de support et la couche mince F2 sont collés l'un à l'autre avec l'adhésif.

La méthode suivante peut être réalisée en vue de former la couche mince F2 sur le substrat de support 5 au lieu de coller la couche mince F2 au substrat de support 5 après avoir obtenu la couche mince cristalline contenant du silicium F2.

Par exemple, après avoir formé les vides 24 dans le substrat cristallin 2, le substrat de support 5 peut être collé avant de diviser le substrat cristallin 2 dans la position de formation de vide (voir l'étape (H) à la Figure 4), et le substrat cristallin 2 peut ensuite être divisé (voir l'étape (I) à la Figure 4). Dans ce cas, le

substrat de support 5 peut être collé avec l'adhésif en vue de permettre l'utilisation d'un substrat ayant une résistance thermique relativement faible en tant que substrat de support 5.

5 En variante, on peut employer la méthode suivante. Comme illustré dans une étape (J) illustrée à la Figure 4, le substrat de support 5 peut être déposé sur le film en SiO₂ 6, qui a été formé sur le substrat cristallin 2, et on procède alors au chauffage en vue de
10 former les vides 24 et de coller le film en SiO₂ 6 au substrat de support 5 (voir l'étape (K) à la Figure 4). Ensuite, le substrat cristallin 2 peut être divisé dans la position de formation de vide (voir l'étape (L) à la Figure 4). Dans ce cas, le chauffage destiné à la
15 formation de vide et le collage peuvent être réalisés, par exemple, de la manière suivante. Par exemple, le chauffage destiné à la formation de vides 24 est réalisé à 350°C ou plus pendant 10 minutes ou plus, et on procède alors au chauffage à environ 1100°C pendant une heure ou
20 plus. Dans ce cas, on peut employer un substrat siliconé ou similaire résistant à la température d'environ 1100°C, en tant que substrat de support 5.

Dans le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium F2 décrit ci-dessus,
25 les vides 24 sont formés par chauffage après avoir formé le film en SiO₂ 6 sur la surface à injection ionique (à savoir la surface du film en SiO₂ 21 dans cet exemple) du substrat en silicium monocristallin 2, comme cela a déjà été décrit. En outre, le film en SiO₂ 6 est formé en vue
30 de maintenir une distance de 2 µm ou plus depuis la surface du film en SiO₂ 6 jusqu'à la position d'implantation ionique.

En raison de la méthode et de la structure ci-dessus, le film en SiO₂ 6 peut appliquer une pression sur
35 la surface à injection ionique du substrat cristallin 2 durant le chauffage en vue de la formation de vide. Par conséquent, il est possible de supprimer une situation

telle que la couche superficielle sur la face à injection ionique du substrat cristallin 2 soit partiellement arrachée en formant des portions en forme de cratères durant le processus de formation de vide. En utilisant le film en SiO₂ 6 qui a été formé dans l'étape de formation de film, en tant que moyens de pression destinés à presser la surface à injection ionique, l'arrachement infime peut être supprimé. Même le film en SiO₂ 6 ayant une faible épaisseur d'environ 1 µm peut presser suffisamment la surface à injection ionique en vue de supprimer l'arrachement infime. En vue de supprimer l'arrachement infime, il n'est pas nécessaire de préparer un moyen de pression spécialisé pour le pressage de la surface à injection ionique.

En formant le film en SiO₂ 6 de telle sorte qu'une distance de 2 µm ou plus soit maintenue entre la surface du film en SiO₂ 6 et la position d'implantation ionique, comme déjà décrit, l'arrachement infime et les craquelures, qui sont illustrés à la Figure 10, peuvent être supprimés même si la particule est présente sur la surface à injection ionique. Ceci est déjà confirmé. L'arrachement infime et autres peuvent être supprimés probablement pour les raisons suivantes. Même si la particule 93 est présente sur la surface à injection ionique (c'est-à-dire sur le film en SiO₂ 21 formé par l'oxydation thermique, dans cet exemple), la particule 93 peut être enterrée dans le film en SiO₂ 6 qui est en outre formé sur la surface à injection ionique par le procédé DCV (voir la Figure 6(A)). En enterrant la particule 93 dans le film en SiO₂ 6, une portion qui n'est pas pressée comme illustré à la Figure 10, n'est pas formée sur la surface à injection ionique si bien que l'arrachement infime peut être supprimé (voir la Figure 6(B)).

(3) La Figure 7(A) est une coupe transversale schématique d'encore un autre exemple de la couche mince cristalline contenant du silicium qui peut être formée

par le procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium du deuxième type.

Une couche mince cristalline contenant du silicium F3 illustrée à la Figure 7(A) est formée d'un film en silicium monocristallin de type "n" 3412, d'un film en silicium monocristallin de type "p" 3411, d'un film en silicium monocristallin de type "p+" 33 et d'un film en aluminium 7, qui sont stratifiés les uns sur les autres.

10 Comme illustré à la Figure 7(B), la couche mince F3 peut être formée sur le substrat de support 5. La structure comprenant le substrat de support 5 qui est pourvu de la couche mince F3 comme illustrée à la Figure 7(B), présente une structure "npp+" formée sur le film en aluminium 7, qui peut être utilisée en tant qu'électrode et peut être employée, par exemple, pour la fabrication de la pile solaire.

Un procédé de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium F3 va à présent être décrit en se référant à un schéma des étapes de la Figure 8.

Tout d'abord, un substrat en silicium monocristallin de type "p" 3 est préparé (voir l'étape (A) à la Figure 8). Dans cet exemple, le substrat cristallin préparé 3 est en forme de plaquette.

Ensuite, des ions hydrogène sont implantés dans le substrat en silicium monocristallin 3 (voir l'étape (B) à la Figure 8). Dans cet exemple, des ions hydrogène négatifs sont implantés avec une tension d'accélération de 100 kV. Ainsi, les ions hydrogène sont implantés dans la position à une profondeur d'environ 1,0 μm depuis la surface du substrat cristallin 3. Les ions hydrogène sont implantés à une densité d'environ 5×10^{16} ions/cm² ou plus.

35 Puis le film en aluminium 7 est formé sur la surface à injection ionique du substrat cristallin 3 (voir l'étape (C) à la Figure 8). En appliquant une pâte

d'aluminium, le film en aluminium 7 peut être formé de façon aisée et peu coûteuse. Dans cet exemple, le film en aluminium 7 présente une épaisseur de 1 μm . Ainsi, le film en aluminium 7 est formé de telle sorte qu'une distance de 2 μm ou plus soit maintenue depuis la surface du film en aluminium 7 jusqu'à la position à implantation ionique. La raison pour l'emploi du film en aluminium 7 d'épaisseur ci-dessus est la même que celle pour laquelle le film en SiO_2 6 d'épaisseur similaire est employé dans le processus de formation de la couche mince cristalline contenant du silicium F2 déjà décrit.

Le substrat cristallin 3 pourvu du film en aluminium 7 est chauffé à une température d'environ 350°C - 600°C pendant plusieurs minutes ou plus de telle sorte que des vides 32 soient formés dans une position d'implantation ionique 31 (voir l'étape (D) à la Figure 8).

Dans ce processus, le substrat cristallin 3 peut être chauffé à 500°C ou plus pendant une heure ou plus, grâce à quoi l'aluminium dans le film en aluminium 7 peut être diffusé thermiquement dans le substrat en silicium monocristallin de type "p" 3. Ainsi, une portion du substrat cristallin 3 proche du film en aluminium 7 peut être changée en une couche P^+ (film en silicium monocristallin de type " p^+ " 33 (voir l'étape (D) à la Figure 8). Une autre portion 34 du substrat cristallin 3 présente encore des caractéristiques initiales de type "p".

Le substrat cristallin 3 est alors divisé dans la position dans laquelle les vides 32 sont formés (voir l'étape (E) à la Figure 8). Ainsi, une structure dans laquelle le film en aluminium 7, le film en silicium monocristallin de type " p^+ " 33 et le film en silicium monocristallin de type "p" 341 sont stratifiés est formée.

Ensuite, du phosphore ou similaire est diffusé à travers la surface séparée du film en silicium

monocristallin de type "p" 341, grâce à quoi une couche "n" (film en silicium monocristallin de type "n" 3412 est formée dans la portion de surface du film 341 (voir l'étape (F) à la Figure 8). Une autre portion 3411 du film 341 présente encore des caractéristiques initiales de type "p".

Ainsi, on obtient une couche mince cristalline contenant du silicium F3. Dans la couche mince cristalline contenant du silicium F3, le film en silicium monocristallin de type "p⁺" 33, qui est formé par la diffusion thermique d'aluminium, le film en silicium monocristallin de type "p" 3411, qui constituait une portion du substrat cristallin 3, et le film en silicium monocristallin de type "n" 3412, qui est formé par diffusion de phosphore ou similaire, sont formés successivement sur le film en aluminium 7. De manière plus spécifique, dans la couche mince F3, une couche mince d'une structure "npp⁺" est formée sur le film en aluminium 7 qui peut être utilisée en tant qu'électrode.

Après avoir obtenu la couche mince cristalline contenant du silicium F3, le substrat de support 5 est collé au film en aluminium 7 de cette couche mince F3 si bien que la couche mince F3 peut être formée sur le substrat de support 5 (voir l'étape (G) à la Figure 8). Ce substrat 5 pourvu de la couche mince F3 peut être utilisé pour la fabrication d'une pile solaire. Etant donné que la couche mince de structure "npp⁺" est formée sur le film en aluminium 7 utilisé en tant qu'électrode, il est possible de procurer une pile solaire de haute efficacité de conversion photoélectrique.

Le substrat de support 5 et la couche mince F3 (film en aluminium 7) peuvent être collés l'un à l'autre avec un adhésif ou en les chauffant. Après avoir collé le substrat de support 5 au film en aluminium, le substrat 3 peut être divisé dans la position de formation de vide, grâce à quoi la couche mince F3 peut être également formée sur le substrat de support 5.

De manière similaire au cas de formation de la couche mince F2, la couche mince F3 est formée de telle manière que le film en aluminium 7 soit présent sur la surface à injection ionique lorsque le chauffage est réalisé pour former les vides. Par conséquent, le film en aluminium 7 peut presser la surface à injection ionique en vue de supprimer l'arrachement infime. Etant donné que le film en aluminium 7 est formé en vue de maintenir une distance de 2 μm ou plus depuis la surface du film en aluminium 7 jusqu'à la position d'implantation ionique. Par conséquent, l'arrachement infime et les craquelures, par exemple, illustrés à la Figure 10, peuvent être supprimés même si des particules sont présentes sur la surface à injection ionique.

Bien que la présente invention ait été décrite et illustrée en détail, il est bien sûr entendu que celle-ci n'est qu'à titre d'illustration et d'exemple et ne doit pas être considérée à titre limitatif, l'esprit et le cadre de la présente invention étant limités uniquement par les termes des revendications annexées.

REVENDEICATIONS

1°) Procédé de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium, comprenant:

- 5 - une étape d'implantation ionique consistant à implanter des ions hydrogène ou des ions hélium dans un substrat cristallin contenant du silicium à 10% ou plus en poids;
- 10 - une étape de formation de vide consistant à former un vide dans une position d'implantation ionique dudit substrat cristallin en chauffant ledit substrat cristallin soumis à l'implantation ionique;
- 15 - une étape de croissance épitaxiale consistant à immerger le substrat cristallin à implantation ionique dans un liquide métallique fondu contenant du silicium, et à refroidir ledit liquide pour provoquer la croissance épitaxiale en vue de former une couche mince monocristalline ou polycristalline constituée principalement de silicium sur une surface à injection ionique dudit substrat; et
- 20 - une étape de division consistant à diviser le substrat cristallin pourvu de la couche mince cristalline dans la position de formation de vide, dans lequel le chauffage dudit substrat cristallin réalisé pour la formation de vide dans ladite étape de formation de vide est réalisé en immergeant au moins la surface à injection ionique dudit substrat cristallin dans le liquide métallique fondu utilisé dans ladite étape de croissance épitaxiale.

2°) Procédé de fabrication de la couche mince cristalline contenant du silicium selon la revendication 1, dans lequel

le chauffage dudit substrat cristallin dans ladite étape de formation de vide est réalisé pendant le chauffage du liquide métallique fondu utilisé dans ladite étape de croissance épitaxiale à une température prédéterminée et/ou pendant le refroidissement dudit

liquide métallique fondu dans ladite étape de croissance épitaxiale.

3°) Procédé de fabrication de la couche mince cristalline contenant du silicium selon la revendication 5 1 ou 2, dans lequel

le refroidissement dudit liquide métallique fondu dans ladite étape de croissance épitaxiale est réalisé à une vitesse d'environ 0,1°C/minute à environ 5°C/minute.

4°) Procédé de fabrication de la couche mince 10 cristalline contenant du silicium selon la revendication 1, comprenant en outre l'étape consistant à:

retirer une portion formant précédemment une portion dudit substrat cristallin, et à former la couche mince cristalline dans ladite étape de croissance 15 épitaxiale, après ladite étape de division.

5°) Procédé de fabrication de la couche mince cristalline contenant du silicium selon la revendication 1, comprenant en outre l'étape consistant à:

retirer le métal collé en raison dudit liquide 20 métallique fondu, de la couche mince cristalline formée sur ledit substrat cristallin dans ladite étape de croissance épitaxiale.

6°) Procédé de fabrication de la couche mince cristalline contenant du silicium selon la revendication 25 1 ou 2, dans lequel

ledit liquide métallique fondu contient, en plus du silicium, au moins un type de métal parmi l'indium, le gallium, l'aluminium et le cuivre, à un taux de 10% ou plus en poids.

7°) Procédé de fabrication de la couche mince 30 cristalline contenant du silicium selon la revendication 1, 2 ou 5, comprenant en outre l'étape consistant à:

coller un substrat de support à la couche mince cristalline formée dans ladite étape de croissance 35 épitaxiale.

8°) Procédé de formation d'une couche mince cristalline contenant du silicium comprenant:

- une étape d'implantation ionique consistant à implanter des ions hydrogène ou des ions hélium dans un substrat cristallin contenant du silicium constitué principalement de silicium;

- une étape de formation de film consistant à former un film prédéterminé sur une surface à injection ionique dudit substrat cristallin contenant du silicium;

- une étape de formation de vide consistant à former un vide dans une position d'implantation ionique dudit substrat cristallin en chauffant ledit substrat cristallin pourvu dudit film; et

- une étape de division consistant à diviser ledit substrat cristallin dans la position de formation de vide, dans lequel

ladite étape de formation de film est réalisée en vue de procurer une épaisseur de 2 μm ou plus d'une surface dudit film prédéterminé à la position d'implantation ionique.

9°) Procédé de fabrication de la couche mince cristalline contenant du silicium selon la revendication 8, dans lequel

ledit film formé dans ladite étape de formation de film est un film isolant.

10°) Procédé de fabrication de la couche mince cristalline contenant du silicium selon la revendication 8, dans lequel

ledit film formé dans ladite étape de formation de film est un film électriquement conducteur.

11°) Procédé de fabrication de la couche mince cristalline contenant du silicium selon la revendication 10, dans lequel

ledit film électriquement conducteur est constitué principalement d'aluminium, et

ledit procédé comprend en outre une étape de chauffage du substrat cristallin pourvu dudit film électriquement conducteur à 500°C ou plus pendant une heure ou plus.

5 12°) Procédé de fabrication de la couche mince cristalline contenant du silicium selon la revendication 11, dans lequel

 un substrat en silicium monocristallin de type "p" est utilisé en tant que dit substrat cristallin contenant
10 du silicium,

 ledit procédé comprend en outre l'étape d'implantation d'un dopant de type "n" dans ledit substrat cristallin pourvu dudit film électriquement conducteur à travers une surface de séparation formée dans ladite
15 étape de division après ladite étape de division, et

 une couche mince d'une structure "npp+" est formée sur ledit film électriquement conducteur.

 13°) Procédé de fabrication de la couche mince cristalline contenant du silicium selon l'une quelconque
20 des revendications 8 à 12, comprenant en outre l'étape consistant à:

 coller un substrat de support au film formé dans ladite étape de formation de film.

Fig.1 (A)



Fig.1 (B)

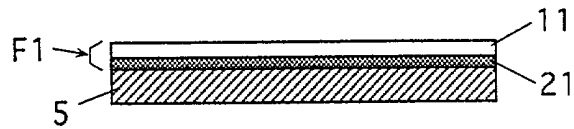


Fig.3(A)

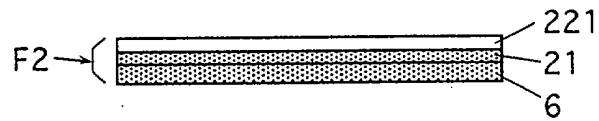


Fig.3(B)

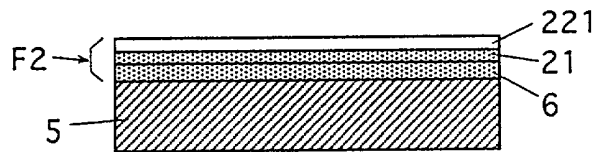


Fig.5

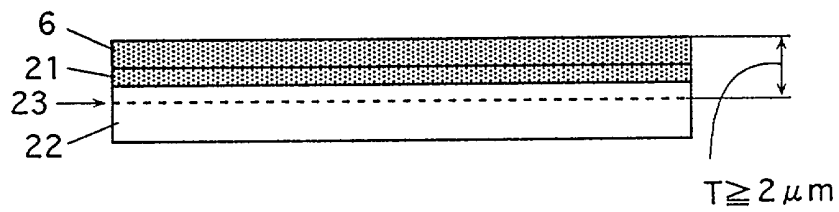


Fig.2

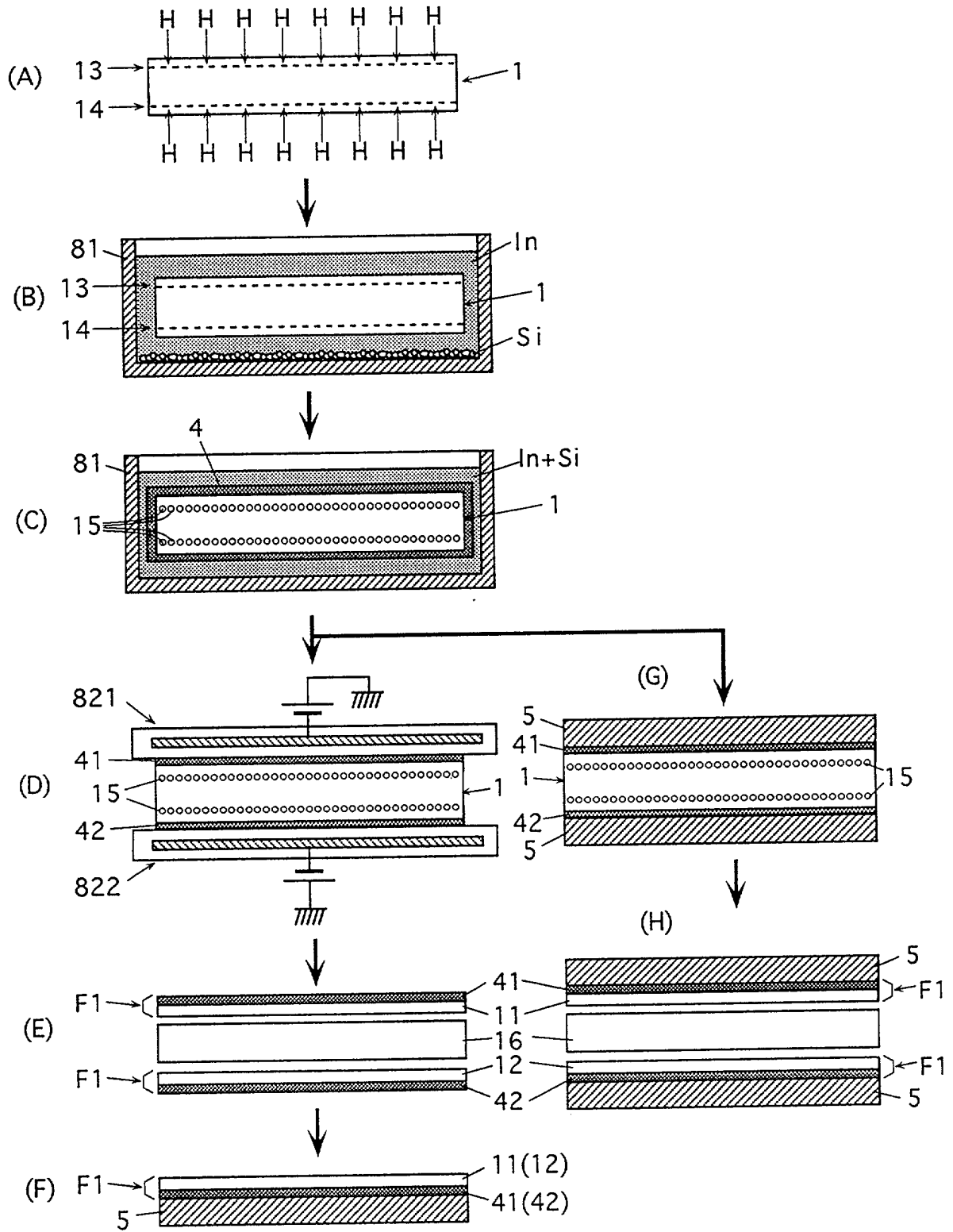


Fig.4

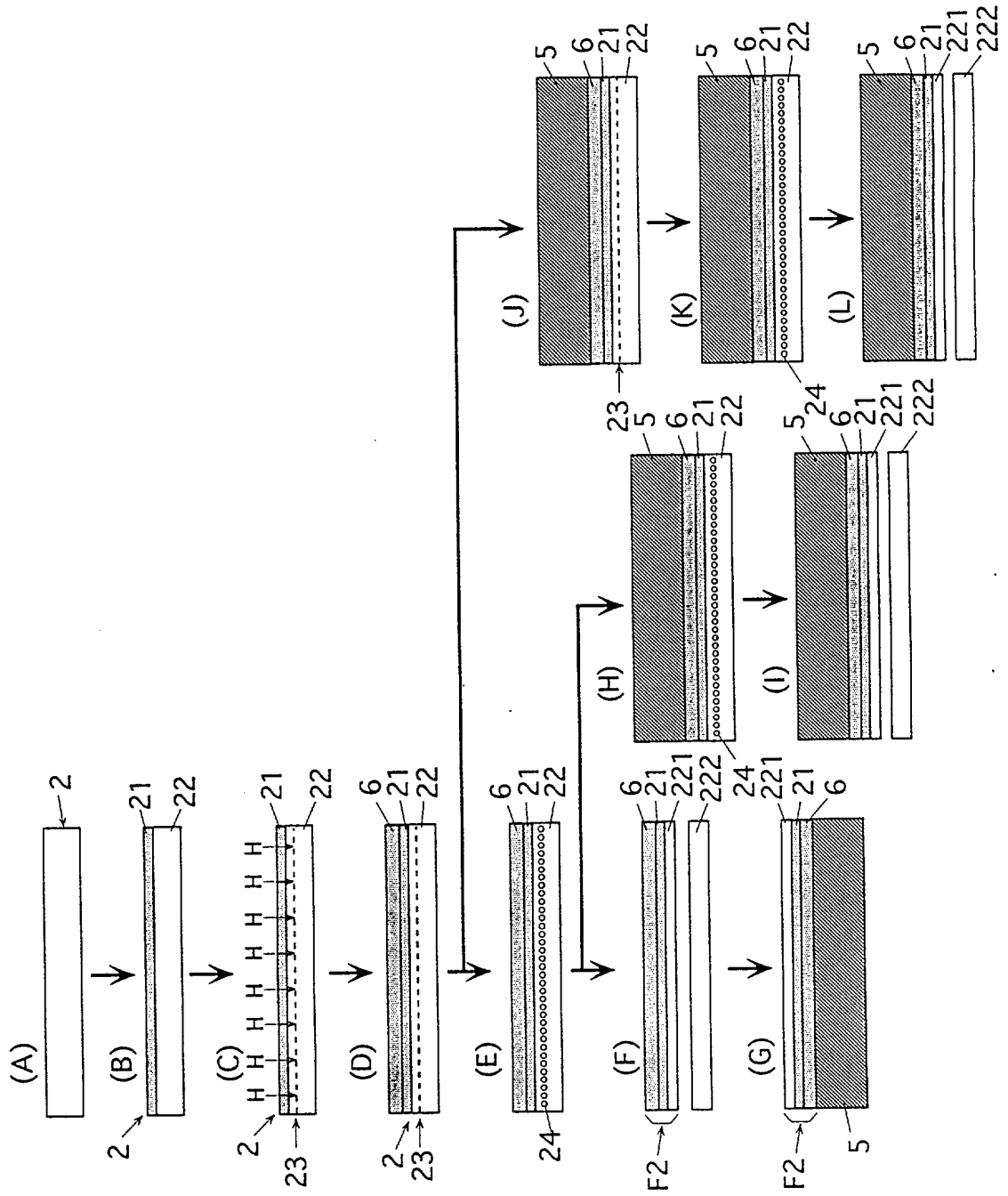


Fig.6(A)

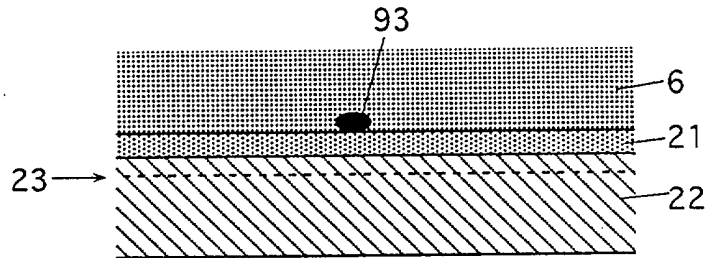


Fig.6(B)

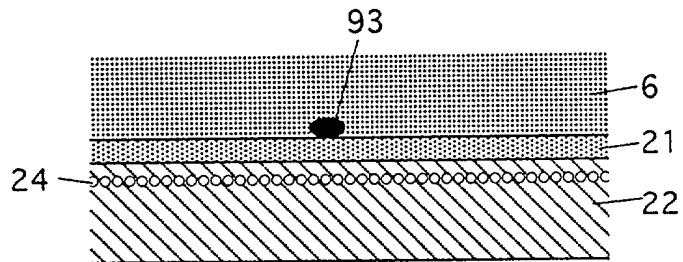


Fig.7(A)

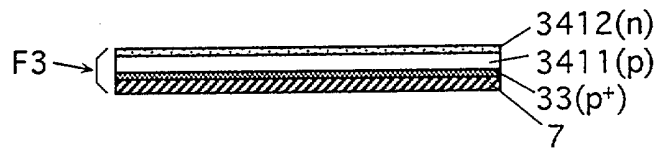


Fig.7(B)

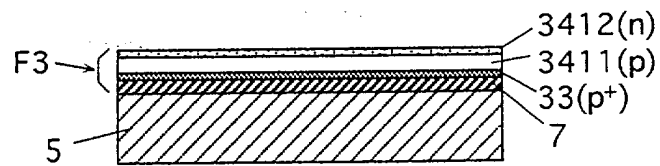


Fig.8

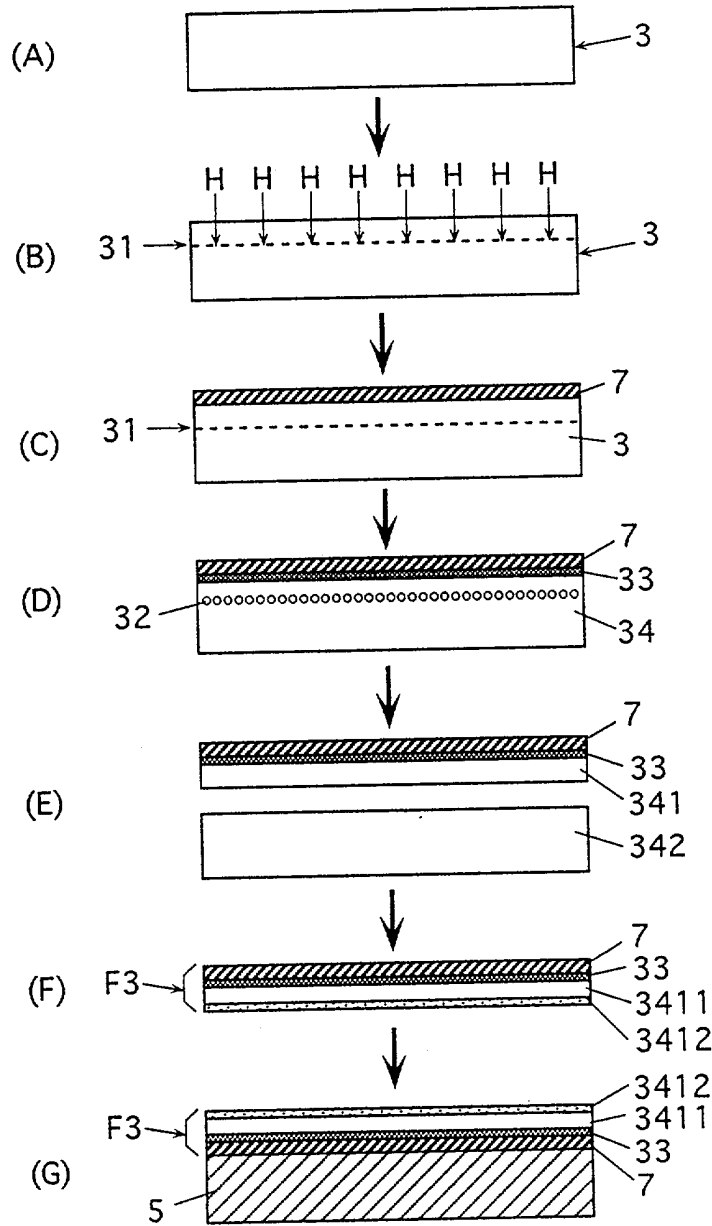
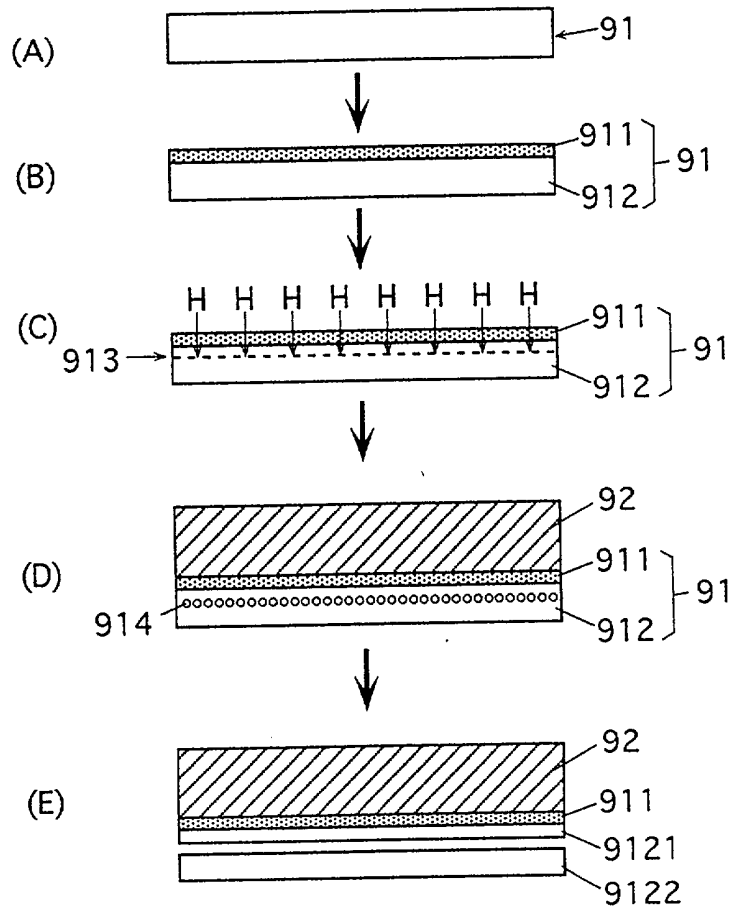
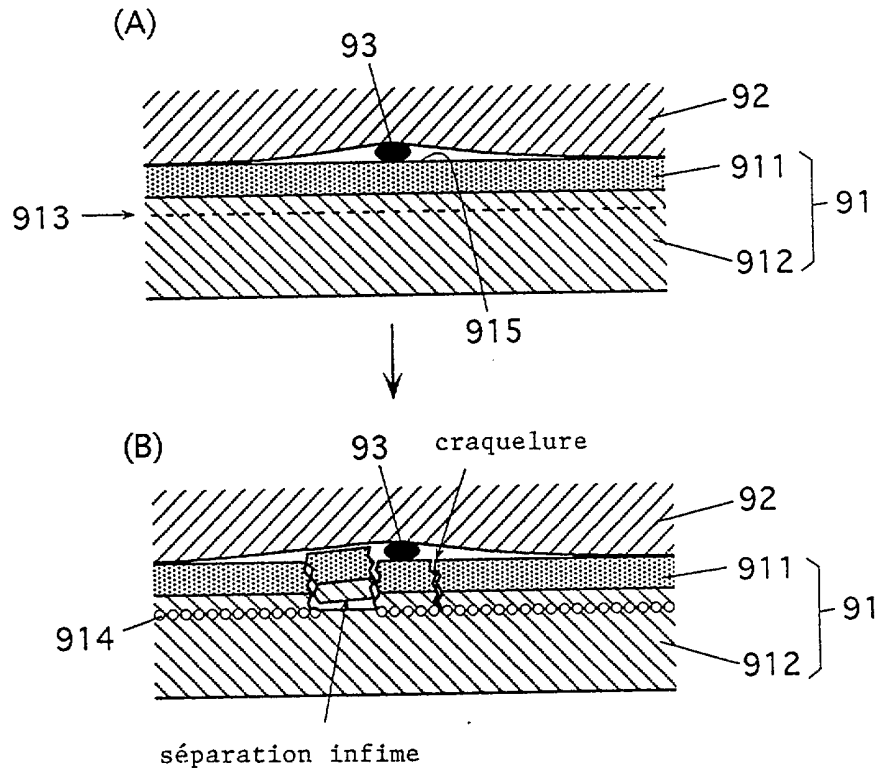


Fig.9



ART ANTERIEUR

Fig.10



ART ANTERIEUR