

**Procédé de production d'un substrat semiconducteur comportant
une couche déposée par épitaxie**

DOMAINE TECHNIQUE

- 5 Le domaine de l'invention est celui des procédés de production d'un substrat de semi-conducteur comportant une couche déposée par épitaxie.

DESCRIPTION DE L'ART ASSOCIÉ

- 10 Un procédé de dépôt épitaxial sur un substrat de semi-conducteur est par exemple décrit dans le document US 7 479 187 B2, qui divulgue qu'il est avantageux et souvent nécessaire d'éliminer des surfaces du réacteur d'épitaxie des résidus qui ont été déposés sur ces surfaces de manière incontrôlée pendant le dépôt, par exemple, de silicium sur le substrat de semi-conducteur. Cette étape, appelée "gravure en chambre" (*chamber etch* en anglais), est réalisée plus ou moins fréquemment en fonction du degré de contamination et des exigences de qualité. Dans certains cas, il est opportun d'effectuer une gravure en
- 15 chambre après le dépôt d'une couche épitaxiale sur un substrat de semi-conducteur avant qu'un dépôt épitaxial ultérieur ne soit effectué sur un autre substrat de semi-conducteur. Dans d'autres cas, la gravure en chambre peut également avoir lieu moins fréquemment, par exemple tous les 2 à 8 dépôts épitaxiaux sur des substrats de semi-conducteur.

- 20 Le document US 7 479 187 B2 propose également de revêtir les surfaces gravées dans le réacteur d'épitaxie d'un film mince de silicium en faisant passer un gaz de dépôt à travers le réacteur d'épitaxie. Le film mince de silicium scelle les surfaces et empêche les contaminants qui diffusent à partir des surfaces de pénétrer dans la couche épitaxiale en croissance lors d'un dépôt épitaxial ultérieur. Le dépôt d'un film mince de silicium sur les surfaces du réacteur d'épitaxie après la gravure en chambre est appelé "revêtement en
- 25 chambre" (*chamber coating* en anglais).

- 30 Les procédés de dépôt épitaxial font appel à un susceptible, par exemple à un susceptible en graphite, qui comprend une ou plusieurs concavités circulaires appelées poches, par exemple en carbure de silicium, chacune formée à une position de mise en place d'un substrat. Le passage de gaz réactifs entre une poche et la face arrière d'un substrat positionné sur cette poche peut entraîner un dépôt de gaz réactifs en face arrière

du substrat. Un tel dépôt est susceptible de dégrader l'état de surface de la face arrière du substrat. Cet état de surface dégradé peut rendre le substrat impropre à être utilisé dans un processus de fabrication de composants électroniques, notamment une fabrication de circuits CMOS.

5 Afin de contourner cette difficulté, il est connu, par exemple de US 7,601,224 B2, d'utiliser des suscepteurs dotés de passages de gaz pour permettre de diriger un filet de gaz vers la face arrière du substrat à même d'empêcher l'écoulement des gaz réactifs sous le substrat, inhibant ainsi le dépôt indésirable de gaz réactifs sur la face arrière du substrat.

10 L'utilisation de tels suscepteurs est susceptible de perturber l'écoulement des gaz réactifs dans la chambre, ce qui risque d'engendrer une non-uniformité du dépôt épitaxial. Cette utilisation est en outre complexe, coûteuse et nécessite une modification importante du matériel.

BRÈVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

15 L'invention vise à éviter le dépôt de gaz réactifs en face arrière d'un substrat lors d'un dépôt épitaxial sur la face avant de celui-ci en passant outre les inconvénients susmentionnés des suscepteurs à passages de gaz.

20 À cet effet, l'invention propose un procédé de production d'un substrat de semi-conducteur comportant une couche déposée par épitaxie, comprenant successivement les étapes de gravure d'un suscepteur d'un réacteur d'épitaxie, de revêtement du suscepteur, de mise en place d'un substrat de semi-conducteur sur le suscepteur et de dépôt d'une couche épitaxiale sur le substrat de semi-conducteur. Le procédé comprend en outre, après le revêtement et avant le dépôt, l'exposition du suscepteur à un mélange gazeux contenant de l'oxygène. Cette exposition conduit à une oxydation du suscepteur qui vient former une couche d'oxyde. Lors du dépôt de la couche épitaxiale sur une face avant du substrat, cette couche d'oxyde se retrouve intercalée entre le suscepteur et une face arrière du substrat et permet d'empêcher le dépôt de gaz réactifs en face arrière du substrat. Ce procédé comprend en outre, après la mise en place du substrat de semi-conducteur sur le suscepteur et avant le dépôt de la couche épitaxiale sur le substrat de semi-conducteur, une étape de cuisson du substrat

25

semi-conducteur, qui élimine, sauf sur le dessous du substrat de semi-conducteur, la couche d'oxyde formée par l'exposition du susceptible à un mélange gazeux contenant de l'oxygène.

Certains aspects préférés, mais non limitatifs, du présent procédé sont les suivants :

- 5 - le mélange gazeux contenant de l'oxygène est un mélange d'hydrogène et d'argon comprenant entre 0,1% et 10% de O₂
- du O₂ est introduit dans le réacteur d'épithaxie à un débit compris entre 0,1 et 10 slm ;
- l'exposition du susceptible à un mélange gazeux contenant de l'oxygène est effectuée après ledit revêtement et avant ladite mise en place ;
- 10 - la couche d'oxyde formée en surface du susceptible par l'exposition du susceptible au mélange gazeux contenant de l'oxygène présente une épaisseur inférieure à 10Å;
- les étapes de mise en place d'un substrat de semi-conducteur sur le susceptible et de dépôt d'une couche épithaxiale sur le substrat de semi-conducteur sont répétées pour au moins un autre substrat de semi-conducteur sans entre-temps graver, revêtir et
- 15 oxyder le susceptible ;
- l'exposition du susceptible à un mélange gazeux contenant de l'oxygène est effectuée après ladite mise en place et avant ledit dépôt ;
- l'exposition du susceptible à un mélange gazeux contenant de l'oxygène est effectuée tout en augmentant une température du réacteur d'épithaxie à une température de
- 20 dépôt épithaxial ;
- les étapes de mise en place d'un substrat de semi-conducteur sur le susceptible, d'exposition du susceptible à un mélange gazeux contenant de l'oxygène et de dépôt d'une couche épithaxiale sur le substrat de semi-conducteur sont répétées pour au moins un autre substrat de semi-conducteur sans entre-temps graver et revêtir le
- 25 suscepteur ;

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS

D'autres aspects, buts, avantages et caractéristiques de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description détaillée suivante de ses modes de réalisation

préférés, fournie à titre non limitatif d'exemple, et faite en référence aux dessins annexés, dans lesquels :

- 5 - la figure 1 est une représentation schématique de l'évolution de la température à l'intérieur d'un réacteur d'épitaxie pendant un processus de dépôt épitaxial selon l'art antérieur ;
- la figure 2 est une représentation schématique de l'évolution de la température à l'intérieur d'un réacteur d'épitaxie pendant un processus de dépôt épitaxial selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 3 est une représentation schématique de l'évolution de la température à 10 l'intérieur d'un réacteur d'épitaxie pendant un processus de dépôt épitaxial selon un deuxième mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 4 est une représentation schématique des étapes d'un procédé de dépôt épitaxial selon un premier mode de réalisation de l'invention ;
- la figure 5 est une représentation schématique des étapes d'un procédé de dépôt 15 épitaxial selon un deuxième mode de réalisation de l'invention.

DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE L'INVENTION

L'invention concerne un procédé de production d'un substrat de semi-conducteur comportant une couche déposée par épitaxie, qui comprend l'exposition d'un susceptible d'un réacteur d'épitaxie à un mélange gazeux contenant de l'oxygène.

- 20 L'invention exploite ainsi un réacteur d'épitaxie dans lequel un mélange gazeux contenant de l'oxygène peut être introduit de manière à exposer les matériaux qui y sont placés au mélange gazeux contenant de l'oxygène, réalisant ainsi une oxydation in situ de ces matériaux. Cette oxydation in situ vient former une couche d'oxyde qui, lors du dépôt de la couche épitaxiale sur une face avant du substrat, se retrouve intercalée entre le 25 suscepteur et une face arrière du substrat et permet d'empêcher le dépôt de gaz réactifs en face arrière du substrat.

Comme évoqué ci-après, l'exposition du susceptible à un mélange gazeux contenant de l'oxygène est effectuée après le "revêtement en chambre" et avant la formation de la couche épitaxiale. À titre d'exemple, l'exposition d'un susceptible à un mélange gazeux

contenant de l'oxygène peut être effectuée après le "revêtement en chambre", avant la mise en place sur le susceptible d'un substrat de semi-conducteur sur laquelle la couche épitaxiale doit être déposée, ou après la mise en place du substrat de semi-conducteur sur le susceptible avant d'effectuer le dépôt épitaxial sur le substrat de semi-conducteur.

5 La figure 1 est une représentation schématique de l'évolution au cours du temps t de la température T à l'intérieur d'un réacteur d'épitaxie pendant un processus de dépôt épitaxial selon l'art antérieur. Comme le montre la figure 1, après un ou plusieurs dépôts épitaxiaux EPI sur des substrats de semi-conducteur, réalisés dans le réacteur d'épitaxie (quatre dépôts épitaxiaux EPI dans l'exemple illustré), le susceptible est gravé au cours d'une
10 étape de gravure en chambre ETCH et revêtu au cours d'une étape de revêtement en chambre COAT d'une couche de silicium. Après cela, un ou plusieurs dépôts épitaxiaux EPI supplémentaires peuvent être effectués avant de répéter la gravure en chambre ETCH et le revêtement en chambre COAT.

La figure 2 et la figure 3 sont des représentations schématiques de l'évolution au cours
15 du temps t de la température T à l'intérieur d'un réacteur d'épitaxie pendant un processus de dépôt épitaxial selon des modes de réalisation de l'invention. Comme le montrent ces figures, le procédé de l'invention comprend une étape désignée ISO d'exposition du susceptible à un mélange gazeux contenant de l'oxygène, cette étape ISO étant effectuée après le revêtement en chambre COAT et avant d'effectuer un dépôt épitaxial EPI.

20 La figure 4 représente des étapes d'un procédé de production d'un substrat de semi-conducteur comportant une couche déposée par épitaxie selon un premier mode de réalisation de l'invention. Ce procédé fait appel à un susceptible S d'un réacteur d'épitaxie, par exemple à un susceptible en graphite, qui comprend une ou plusieurs concavités circulaires P appelées poches, par exemple en carbure de silicium, chacune formée à une
25 position de mise en place du substrat.

Lors de l'étape (a), le susceptible est soumis à une étape de gravure en chambre, par exemple dans du H_2 et du HCl. Le H_2 peut être introduit dans le réacteur d'épitaxie à un débit de 3 à 100 slm (litre standard par minute) tandis que le HCl peut être introduit dans le réacteur d'épitaxie à un débit de 5 à 20 slm. L'étape de gravure en chambre peut être

effectuée à une température comprise entre 1050°C et 1200°C pendant une durée comprise entre 20 secondes et 400 secondes.

Lors de l'étape (b), le susceptible est soumis à une étape de revêtement en chambre pour former sur celui-ci un film de silicium 10, par exemple de silicium polycristallin. L'étape de revêtement en chambre peut comprendre l'introduction d'un mélange de H₂ et de TCS (trichlorosilane) dans le réacteur d'épithaxie. Le H₂ peut être introduit dans le réacteur d'épithaxie à un débit de 3 à 100 slm (litre standard par minute) tandis que le TCS peut être introduit dans le réacteur d'épithaxie à un débit de 10 à 19 slm. L'étape de revêtement en chambre peut être effectuée à une température comprise entre 1000°C et 1150°C pendant une durée comprise entre 10 secondes et 100 secondes.

Lors de l'étape (c), le susceptible revêtu est exposé à un mélange gazeux contenant de l'oxygène. Cette exposition forme une couche d'oxyde 20 en surface du susceptible. L'épaisseur de cette couche d'oxyde est par exemple inférieure à 10Å. Plus particulièrement, comme évoqué ci-dessus, cette étape (c) réalise une oxydation in situ du susceptible, le mélange gazeux contenant de l'oxygène qui est introduit dans le réacteur d'épithaxie venant réagir in situ avec le susceptible revêtu pour former la couche d'oxyde 20. Sur la figure 2, ces trois étapes (a), (b) et (c) sont respectivement désignées par ETCH, COAT et ISO.

L'étape d'exposition du susceptible au mélange gazeux contenant de l'oxygène peut être effectuée à une température comprise entre 900°C et 1100°C pendant une durée comprise entre 5 secondes et 100 secondes. Le mélange gazeux contenant de l'oxygène auquel le susceptible est exposé pendant l'oxydation in situ peut comprendre de l'hydrogène en tant que gaz porteur et de l'argon comprenant entre 0,1% et 10% de O₂. Dans un mode de réalisation possible, l'oxydation in situ comprend l'introduction d'oxygène dans le réacteur d'épithaxie à un débit compris entre 0,1 et 10 slm avec du gaz porteur H₂ à un débit compris entre 5 et 100 slm.

Le procédé se poursuit par une étape (d) de mise en place d'une ou de plusieurs substrats de semi-conducteur 30 sur la couche d'oxyde 20 du susceptible 5 (plus précisément au niveau de la ou des positions de mise en place des substrats correspondants à la ou aux poches). La couche d'oxyde 20 est ainsi intercalée entre le susceptible et la face

arrière de chacun du ou des substrats, empêchant ainsi la diffusion de gaz réactifs entre le susceptible et la face arrière du ou des substrats lors des étapes ultérieures.

Le procédé comprend ensuite une étape (e) de cuisson du ou des substrats de semi-conducteur 30 sur le susceptible S, qui élimine la couche d'oxyde 20 excepté sur le dessous
5 de la ou des substrats de semi-conducteur 30 (i.e. la couche d'oxyde reste présente entre la face arrière du ou des substrats et le susceptible) et une étape (f) de dépôt d'une couche épitaxiale 30 sur la face avant de chacun du ou des substrats de semi-conducteur 30. Sur la figure 2, ces deux étapes (e) et (f) sont respectivement désignées par BAKE et EPI. Comme illustré sur la figure 2, la cuisson est généralement effectuée après une montée en
10 température, et le dépôt épitaxial est effectué après la cuisson et est suivi d'une descente en température. Pour simplifier l'illustration, l'étape de cuisson BAKE n'est indiquée qu'une seule fois sur la figure 2, mais il est entendu qu'une étape de cuisson de ce type précède chaque dépôt épitaxial EPI.

L'étape de cuisson BAKE peut être effectuée dans du H₂ introduit à un débit compris
15 entre 3 et 100 slm. Elle peut être effectuée à une température comprise entre 950°C et 1200°C pendant une durée comprise entre 5 secondes et 100 secondes.

L'étape de dépôt épitaxial EPI est effectuée dans du H₂ en utilisant un gaz réactif pour le dépôt épitaxial, tel que du TCS. Le TCS peut être introduit à un débit compris entre 5 et 50 slm tandis que le gaz porteur H₂ peut être introduit à un débit compris entre 3 et 100
20 slm. L'étape de dépôt épitaxial EPI peut être effectuée à une température comprise entre 950°C et 1200°C pendant une durée comprise entre 10 secondes et 1000 secondes.

Selon une variante possible de ce premier mode de réalisation, les étapes de mise en place d'un substrat de semi-conducteur sur le susceptible, de cuisson du substrat de semi-conducteur et de dépôt d'une couche épitaxiale sur le substrat de semi-conducteur sont
25 répétées pour au moins un autre substrat de semi-conducteur sans entre-temps graver, revêtir et oxyde in situ le susceptible. À titre d'exemple, quatre à six dépôts épitaxiaux peuvent être effectués avant d'exposer le susceptible à une nouvelle séquence de gravure, de revêtement et d'oxydation in situ. Sur la figure 2, quatre dépôts épitaxiaux EPI sont effectués entre deux séquences de gravure ETCH - revêtement COAT - oxydation in situ ISO
30 du susceptible.

La figure 5 représente les étapes d'un procédé de production d'un substrat de semi-conducteur comportant une couche déposée par épitaxie selon un deuxième mode de réalisation de l'invention. Les étapes (a) et (b) sont respectivement une étape de gravure en chambre et une étape de revêtement en chambre semblables à celles évoquées ci-dessus à propos de la figure 4. Après le revêtement, le procédé comprend une étape (c) de mise en place d'un ou de plusieurs substrats de semi-conducteur 30 sur le suscepteur S (plus précisément à la ou aux positions de mise en place des substrats correspondant à la ou aux poches). Comme illustré schématiquement sur la figure 5, le substrat de semi-conducteur 30 peut présenter des valeurs dégradées de planéité locale dans sa région de bord.

L'exposition du suscepteur revêtu à un mélange gazeux contenant de l'oxygène a ensuite lieu à l'étape (d), par une oxydation in situ lors de laquelle le mélange gazeux contenant de l'oxygène introduit dans le réacteur d'épitaxie réagit in situ avec le suscepteur revêtu pour former une couche d'oxyde 25 située à la fois sur la face avant du substrat de semi-conducteur et sur la face arrière du substrat de semi-conducteur, entre le substrat de semi-conducteur et le suscepteur revêtu. L'épaisseur de cette couche d'oxyde est par exemple inférieure à 10Å. Sur la figure 3, cette oxydation in situ est désignée par ISO.

Le mélange gazeux contenant de l'oxygène auquel le suscepteur est exposé pendant l'oxydation in situ peut comprendre de l'hydrogène en tant que gaz porteur et de l'argon comprenant entre 0,1% et 10% de O₂. Dans un mode de réalisation possible, l'oxydation in situ comprend l'introduction d'oxygène dans le réacteur d'épitaxie à un débit supérieur à 0,1 slm tandis que du gaz porteur H₂ est introduit à un débit compris entre 5 et 100 slm de manière à assurer un contact de la couche sur le suscepteur revêtu.

L'oxydation in situ du suscepteur est suivie d'une étape (e) de cuisson d'un ou de plusieurs substrats de semi-conducteur 30 sur le suscepteur S, qui élimine la couche d'oxyde 25 excepté sur le dessous du ou des substrats de semi-conducteur 30 (i.e. elle reste présente entre la face arrière du ou des substrats et le suscepteur) et d'une étape (f) de dépôt d'une couche épitaxiale 40 sur chacun du ou des substrats de semi-conducteur 30. Sur la figure 3, ces deux étapes (e) et (f) sont respectivement désignées par BAKE et EPI. Comme illustré sur la figure 3, la cuisson est généralement effectuée après une montée en

température, et le dépôt épitaxial est effectué après la cuisson et est suivi d'une descente en température. Pour simplifier l'illustration, l'étape de cuisson BAKE n'est indiquée qu'une seule fois sur la figure 3, mais il est entendu qu'une étape de cuisson de ce type précède chaque dépôt épitaxial EPI.

5 Selon ce deuxième mode de réalisation, l'oxydation in situ du susceptible ISO peut être effectuée pendant la montée en température, c'est-à-dire pendant l'augmentation de la température du réacteur d'épitaxie jusqu'à atteindre une température de dépôt épitaxial. À titre d'exemple, l'oxydation in situ du susceptible ISO est effectuée pendant la montée en température à une vitesse de montée de 3 à 10 °C/s, jusqu'à une température comprise
10 entre 600°C et 1100°C. Sa durée peut être comprise entre 5 secondes et 200 secondes.

 L'étape de cuisson BAKE peut être effectuée dans du H₂ introduit à un débit compris entre 3 et 100 slm. Elle peut être effectuée à une température comprise entre 950°C et 1200°C pendant une durée comprise entre 5 secondes et 100 secondes. L'étape de dépôt épitaxial EPI est effectuée dans du H₂ en utilisant un gaz réactif pour le dépôt épitaxial, tel
15 que du TCS. Le TCS peut être introduit à un débit compris entre 5 et 50 slm tandis que le gaz porteur H₂ peut être introduit à un débit compris entre 3 et 100 slm. L'étape de dépôt épitaxial EPI peut être effectuée à une température comprise entre 950°C et 1200°C pendant une durée comprise entre 10 secondes et 1000 secondes.

 Selon une variante possible de ce deuxième mode de réalisation, les étapes de mise
20 en place d'un substrat de semi-conducteur sur le susceptible, d'exposition du susceptible à un mélange gazeux contenant de l'oxygène, de cuisson du substrat de semi-conducteur et de dépôt d'une couche épitaxiale sur le substrat de semi-conducteur sont répétées pour au moins un autre substrat de semi-conducteur sans entre-temps graver et revêtir le susceptible. À titre d'exemple, quatre à six dépôts épitaxiaux peuvent être effectués avant
25 d'exposer le susceptible à une nouvelle séquence de gravure ETCH et de revêtement COAT. Sur la figure 3, quatre dépôts épitaxiaux EPI de ce type sont effectués entre deux séquences de gravure ETCH et de revêtement COAT du susceptible, chaque dépôt épitaxial EPI étant précédé d'une oxydation in situ du susceptible ISO.

REVENDEICATIONS

1. Procédé de production d'un substrat de semi-conducteur comportant une couche déposée par épitaxie, comprenant successivement les étapes suivantes :
 - gravure (ETCH) d'un susceptible (S) d'un réacteur d'épitaxie ;
 - 5 - revêtement (COAT) du susceptible ;
 - mise en place d'un substrat de semi-conducteur (30) sur le susceptible ;
 - dépôt (EPI) d'une couche épitaxiale (40) sur le substrat de semi-conducteur (30) ;et en outre, après le revêtement et avant le dépôt, l'exposition (ISO) du susceptible à un mélange gazeux contenant de l'oxygène, ladite exposition conduisant à une oxydation du
10 suscepteur qui vient former une couche d'oxyde (20, 25) en surface du susceptible, ladite couche d'oxyde (20, 25) se retrouvant, lors du dépôt de la couche épitaxiale sur une face avant du substrat de semi-conducteur, intercalée entre le susceptible et une face arrière du substrat de semi-conducteur ;
et en outre en outre, après la mise en place et avant le dépôt (EPI), une cuisson (BAKE) du
15 substrat de semi-conducteur qui élimine ladite couche d'oxyde (20, 25) excepté sur le dessous du substrat de semi-conducteur (30).
2. Procédé selon la revendication 1, dans lequel le mélange gazeux comprenant de l'oxygène est un mélange d'hydrogène et d'argon comprenant entre 0,1 % et 10 % de O₂.
- 20 3. Procédé selon la revendication 2, dans lequel du O₂ est introduit dans le réacteur d'épitaxie à un débit compris entre 0,1 et 10 slm.
4. Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, dans lequel la couche d'oxyde (20, 25) formée par l'exposition (ISO) du susceptible au mélange gazeux contenant de l'oxygène
25 présente une épaisseur inférieure à 10Å.
5. Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, dans lequel ladite exposition (ISO) est effectué après le revêtement (COAT) et avant ladite mise en place.

5 6. Procédé selon la revendication 5, dans lequel les étapes de mise en place d'un substrat de semi-conducteur sur le suscepteur et de dépôt d'une couche épitaxiale sur le substrat de semi-conducteur sont répétées pour au moins un autre substrat de semi-conducteur sans entre-temps graver, revêtir et exposer le suscepteur à un mélange gazeux contenant de l'oxygène.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel ladite exposition (ISO) est effectuée après ladite mise en place et avant ledit dépôt.

10 8. Procédé selon la revendication 7, dans lequel ladite exposition est effectuée tout en augmentant une température du réacteur d'épitaxie à une température de dépôt épitaxial.

15 9. Procédé selon l'une des revendications 7 et 8, dans lequel les étapes de mise en place d'un substrat de semi-conducteur sur le suscepteur, d'exposition du suscepteur et de dépôt d'une couche épitaxiale sur le substrat de semi-conducteur sont répétées pour au moins un autre substrat de semi-conducteur sans entre-temps graver et revêtir le suscepteur.