Description

Titre de l'invention : METHODE DE MESURE DE L'EPAISSEUR D'UNE COUCHE SUPERFICIELLE D'UN SUBSTRAT SOI

DOMAINE DE L'INVENTION

[0001] La présente invention concerne le domaine des semi-conducteurs et en particulier des substrats SOI (Silicium sur isolant). L'invention porte sur une méthode de mesure d'épaisseur s'appliquant à une couche superficielle d'un substrat SOI, en particulier lorsque la couche superficielle présente une épaisseur moyenne inférieure à 50nm : la méthode améliore drastiquement la fiabilité des paramètres d'épaisseur (moyenne, minimum, maximum, etc) obtenus, la fiabilité s'entendant ici du fait que ces paramètres sont représentatifs de la couche superficielle sur toute sa surface.

[0002] ARRIERE PLAN TECHNOLOGIQUE DE L'INVENTION

[0003] De plus en plus d'applications basées sur des substrats SOI requièrent de très bonnes uniformités d'épaisseur de la couche superficielle de silicium. Par exemple, dans les applications digitales, la couche active des substrats FDSOI (« Fully depleted SOI ») doit présenter de très faibles variations d'épaisseur car ces dernières impactent la tension de seuil des transistors élaborés dans et/ou sur la couche active.

[0004] Les spécifications en termes d'épaisseur et d'uniformité deviennent donc très agressives : on attend pour une couche d'épaisseur typiquement inférieure à 50nm, voire à 25nm, une uniformité (correspondant à la différence entre l'épaisseur maximale et l'épaisseur minimale de la couche) inférieure à 1nm.

[0005] Dans une chaine de fabrication, les paramètres d'épaisseur (épaisseur moyenne, uniformité, etc) d'une couche superficielle de substrat FDSOI sont extraits à partir d'un nombre limité de points de mesure (par exemple, 41 points), pour des raisons compréhensibles de cadence de production. Même si la position des points de mesure sur la surface de la couche superficielle est prédéfinie pour tenter de capturer l'information d'épaisseur la plus représentative de l'intégralité de ladite surface, il n'est pas garanti de relever les minima et maxima d'épaisseur, la localisation de ces derniers étant susceptible de varier d'un substrat à un autre.

[0006] OBJET DE L'INVENTION

[0007] La présente invention vise à améliorer la fiabilité des paramètres d'épaisseur (moyenne, minimum, maximum, uniformité, etc) obtenus, la fiabilité s'entendant ici du fait que ces paramètres soient représentatifs de la couche superficielle sur toute sa surface. Elle concerne une méthode de mesure d'épaisseur s'appliquant à une couche superficielle d'un substrat SOI, en particulier lorsque la couche superficielle présente une épaisseur moyenne inférieure à 50nm ; la méthode implémente un outil standard

de mesure d'épaisseur en un nombre fini de points, et utilise des informations issues d'une cartographie pour identifier des signatures de potentielles variations d'épaisseur, et le cas échéant, réaliser des mesures additionnelles d'épaisseur dans les régions localisées correspondant à ces signatures.

[0008] BREVE DESCRIPTION DE L'INVENTION

[0009] L'invention concerne une méthode de mesure d'au moins un paramètre d'épaisseur d'une couche superficielle d'un substrat SOI, la couche superficielle présentant une surface s'étendant selon un plan principal, la méthode comprenant les étapes suivantes :

[0010] a) la mesure d'épaisseur en un nombre prédéfini de premiers points, distribués spatialement sur la surface, résultant en une première série de valeurs comprenant un premier maximum et un premier minimum ; la mesure d'épaisseur étant opérée par une première technique et les premiers points ne couvrant pas la surface dans sa totalité ;

[0011] b) la réalisation d'une cartographie complète de la surface de la couche superficielle par une deuxième technique, différente de la première technique, la cartographie traduisant une caractéristique physique de la couche superficielle corrélée à l'épaisseur ;

[0012] c) l'analyse de la cartographie de manière à identifier s'il existe une signature susceptible de traduire une variation d'épaisseur, supérieure ou égale à la différence entre le premier maximum et le premier minimum, dans une région localisée de la couche superficielle ;

[0013] d) si une signature est identifiée, la mesure d'épaisseur en un deuxième point ou une pluralité de deuxièmes points positionné(s) dans la région localisée, résultant en une deuxième série de valeur(s) comprenant un deuxième maximum et/ou un deuxième minimum ; la mesure d'épaisseur étant opérée par la première technique ;

[0014] e) le calcul d'au moins un paramètre d'épaisseur, basé sur la première série de valeurs et, potentiellement sur la deuxième série de valeur(s).

[0015] Selon d'autres caractéristiques avantageuses et non limitatives de l'invention, prises seules ou selon toute combinaison techniquement réalisable :

- la couche superficielle présente une épaisseur moyenne inférieure ou égale à 50nm, inférieure ou égale à 25nm, inférieure ou égale à 20nm, ou encore inférieure ou égale à 15nm ;
- la deuxième technique est la réflectométrie et la caractéristique physique est l'épaisseur ;
- la deuxième technique est basée sur une inspection de surface par diffusion laser dans laquelle un faisceau laser effectue un balayage de la surface de la couche superficielle, et la caractéristique physique est le bruit de fond diffus (« haze ») ;

- une signature correspond à une variation d'intensité anormale du signal de bruit de fond diffus, et peut se présenter sous forme d'un motif ponctuel, d'une onde périodique, ou d'autres motifs ;
- la signature est identifiée sur la cartographie par l'intermédiaire d'un algorithme de reconnaissance d'images ou par seuillage de l'intensité du signal de bruit de fond diffus ;
- à l'issue de l'étape c), il est attribué des coordonnées à la signature, dans le plan principal, par un équipement – dit deuxième équipement – mettant en œuvre la deuxième technique, et lesdites coordonnées sont communiquées, préalablement à l'étape d), à un premier équipement mettant en œuvre la première technique ;
- les deuxièmes points sont positionnés dans le plan principal selon des schémas de répartition établis en fonction de la forme de la signature ;
- le -au moins un- paramètre d'épaisseur calculé à l'étape e) est l'uniformité ;
- plusieurs paramètres d'épaisseur sont calculés à l'étape e), parmi lesquels une moyenne, et/ou une médiane, et/ou un écart-type ;
- la première technique est l'ellipsométrie spectrale ;
- le nombre prédéfini de premiers points est 12, 41 ou 625 ;
- les deuxièmes points sont au nombre de 2, 9, 16 ou 25.

BREVE DESCRIPTION DES FIGURES

[0016] D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront de la description détaillée de l'invention qui va suivre en référence aux figures annexées sur lesquelles :

[0017] [Fig.1] La [Fig.1] présente les étapes d'une méthode de mesure conforme à la présente invention ;

[0018] [Fig.2]

[0019] [Fig.3] Les figures 2 et 3 illustrent deux exemples de cartographie obtenues à l'étape b) de la méthode de mesure conforme à l'invention ([Fig.2] : par réflectométrie, premier mode de réalisation ; [Fig.3] : par inspection par diffusion laser, deuxième mode de réalisation) ;

[0020] [Fig.4a]

[0021] [Fig.4b]

[0022] [Fig.4c]

[0023] [Fig.4d] Les figures 4a, 4b, 4c, 4d illustrent quatre exemples de cartographies obtenues selon le deuxième mode de réalisation de l'étape b), présentant des signatures particulières ; elles illustrent également quatre exemples associés de disposition des deuxièmes points de mesure à l'étape d), dans une méthode de mesure conforme à l'invention ;

[0024] [Fig.5a]

[0025] [Fig.5b]

[0026] [Fig.5c]

[0027] [Fig.5d] Les figures 5a, 5b, 5c, 5d illustrent un exemple de résultats obtenus respectivement aux étapes a), b), c), d) lors de la mise en œuvre d'une méthode conforme à l'invention.

DESCRIPTION DETAILLEE DE L'INVENTION

[0028] La présente invention concerne une méthode de mesure d'un ou plusieurs paramètre(s) d'épaisseur d'une couche superficielle en silicium d'un substrat SOI (silicium sur isolant).

[0029] Par paramètres d'épaisseur, on entend l'uniformité d'épaisseur, la moyenne (épaisseur moyenne), la médiane, l'écart-type, etc. Ces paramètres sont habituellement calculés à partir des valeurs d'épaisseur de la couche superficielle obtenues en plusieurs points de mesure. En particulier, l'uniformité d'épaisseur peut être déterminée par différence entre le maximum et le minimum d'épaisseur mesurés.

[0030] Un substrat SOI se présente habituellement sous la forme d'une plaquette circulaire, de diamètre pouvant aller de 150mm à 450mm, par exemple classiquement 300mm pour les substrats FDSOI. La couche superficielle en silicium est disposée sur une couche diélectrique, elle-même disposée sur un substrat support. La surface de la couche superficielle s'étend dans un plan principal (x,y).

[0031] Avantageusement, cette méthode s'applique à un substrat SOI présentant une couche superficielle très fine, typiquement d'épaisseur moyenne inférieure ou égale à 50nm, inférieure ou égale à 25nm, inférieure ou égale à 20nm, voire inférieure ou égale à 15nm. Pour de tels substrats, la couche diélectrique enterrée du substrat SOI est en général comprise entre 10nm et 100nm.

[0032] Parmi les caractéristiques physiques nécessitant de respecter des spécifications en sortie de ligne de fabrication, on compte bien sûr les paramètres d'épaisseur de la couche superficielle d'un substrat SOI. Comme évoqué en introduction, il n'est pas aisé de garantir que ces paramètres d'épaisseur soient représentatifs de l'intégralité de la couche superficielle, car bien souvent, un nombre limité de points de mesure est implémenté dans les recettes de métrologie, dans le but de respecter les cadences de production, gradation et expédition.

[0033] Pour pallier ce problème, la méthode de mesure selon l'invention comprend une succession d'étapes ([Fig.1]) qui vont maintenant être décrites.

[0034] **L'étape a)** correspond à la mesure d'épaisseur de la couche superficielle du substrat SOI, en un nombre prédéfini de points (dits premiers points), distribués spatialement sur la surface de ladite couche. La distribution spatiale des premiers points dans le plan

principal (x,y) peut prendre différentes formes, plus ou moins classiques, par exemple, une croix, un colimaçon, une étoile, etc. Les points les plus périphériques s'étendent préférentiellement jusqu'à 3 mm d'un bord (contour) du substrat SOI, sachant que la couche superficielle s'étend en général au moins jusqu'à 0,5mm dudit bord.

[0035] Cette mesure d'épaisseur est opérée par une première technique, choisie pour être précise et fiable sur un substrat SOI. Préférentiellement, la première technique est l'ellipsométrie spectrale. On peut citer notamment l'équipement industriel F5X de la société KLA. La plage de longueurs d'onde est typiquement 240nm – 750nm et la précision de mesure est de 0,03nm pour un substrat SOI présentant une couche superficielle d'épaisseur moyenne inférieure ou égale à 50nm.

[0036] Le nombre prédéfini de premiers points peut-être par exemple 12, 41 ou 625. Un nombre de points relativement faible est privilégié pour limiter la perte de temps au niveau de cette étape a) de métrologie : les premiers points ne peuvent ainsi pas couvrir la surface de la couche dans sa totalité.

[0037] Il résulte de l'étape a) une première série de valeurs d'épaisseur comprenant un maximum (dit premier maximum) et un minimum (dit premier minimum). A ce stade, une uniformité d'épaisseur intermédiaire peut être calculée, à partir des premiers maximum et minimum.

[0038] **L'étape b)** de la méthode correspond à la réalisation d'une cartographie complète de la surface de la couche superficielle, ladite cartographie traduisant une caractéristique physique de la couche superficielle plus ou moins corrélée à ou représentative de l'épaisseur. En d'autres termes, la caractéristique physique est corrélée à la réflectivité spéculaire du substrat SOI, réflectivité qui est elle-même fonction de l'épaisseur du multicouche selon le formalisme de Fresnel.

[0039] Par cartographie complète, on entend que la caractéristique physique est mesurée sur l'ensemble de la surface de la couche superficielle, avec une maille de mesure (espacement entre deux points de mesure consécutifs) inférieure ou égale à 5mm, à 1mm, voire inférieure ou égale à 500µm (par exemple 200µm, correspondant à la taille d'un pixel).

[0040] L'étape b) met en œuvre une deuxième technique, différente de la première technique. Cette deuxième technique est avantageusement choisie parmi les techniques autorisant une haute cadence de mesure.

[0041] Selon un premier mode de réalisation, la deuxième technique est la réflectométrie et la caractéristique physique est l'épaisseur. Un équipement de type ACUMAP de la société ADE peut par exemple être utilisé. Il permet une mesure d'épaisseur selon des grilles dont le pas peut descendre jusqu'à 1mm, soit plus de 70000 points, ce qui procure une cartographie d'épaisseur de l'ensemble de la surface de la couche

superficielle. La [Fig.2] illustre un exemple de cartographie d'épaisseur obtenue par réflectométrie.

[0042] Bien qu'une mesure par réflectométrie soit moins précise qu'une mesure par ellipsométrie (comme utilisée à l'étape a)), la cadence de mesure permet l'obtention rapide d'une cartographie, laquelle pourra à l'étape suivante, être analysée pour éventuellement identifier des signatures de variations importantes d'épaisseur, potentiellement en dehors des zones mesurées à l'étape a).

[0043] Selon un deuxième mode de réalisation, la deuxième technique correspond à une inspection de surface par diffusion laser, dans laquelle un faisceau laser UV effectue un balayage de la surface de la couche superficielle.

[0044] Il est usuel d'inspecter un substrat SOI par microscopie en champ sombre à l'aide d'un faisceau lumineux incident se projetant en un point d'inspection balayant la surface exposée du substrat, pour en qualifier le niveau de défectivité. Un dispositif collecteur de lumière et un détecteur permettent de mesurer la lumière diffusée au niveau du point d'inspection. Une telle inspection peut notamment être réalisée à l'aide d'un équipement d'inspection de type Surfscan™ SP1, SP2, SP3 ou SP5 de la société KLA. Lorsque la surface inspectée comporte une irrégularité de surface ou une particule, présente au niveau du point d'inspection, cela conduit à augmenter le signal lumineux diffusé. La mesure de ce rayonnement constitue une signature porteuse d'informations de la présence, de la position et/ou de la nature d'un défaut de surface ou d'une particule au niveau du point d'inspection. Le balayage par le faisceau laser de la totalité de la couche superficielle permet l'obtention d'une cartographie complète de défectivité, également essentielle à la gradation d'un substrat SOI. La longueur d'onde du faisceau laser est située entre 200nm et 500nm selon les équipements. Préférentiellement, elle se situe dans les ultra-violets (UV), voire les ultra-violets profonds (DUV pour « deep UV »), typiquement entre 200nm et 280nm. A titre d'exemple, l'équipement SP5 propose un laser à 266nm.

[0045] Après balayage de la surface de la couche superficielle par le faisceau laser, en plus d'une cartographie de défectivité, ce type d'équipement peut également compiler une cartographie à partir du signal de bruit de fond diffus (plus connu sous l'appellation anglosaxonne « haze »). Le bruit de fond diffus correspond à la réflectance diffuse du substrat mesuré. Un exemple de cartographie de bruit de fond diffus est illustré sur la [Fig.3], pour un substrat SOI de 300mm de diamètre, avec une couche superficielle de 12 nm d'épaisseur moyenne et une couche diélectrique enterrée (SiO_2) de 25 nm d'épaisseur moyenne.

[0046] Le signal de bruit de fond diffus est connu pour être représentatif de la rugosité de surface de la couche superficielle. Dans le cas d'une couche superficielle de faible épaisseur (typiquement inférieure ou égale à 50nm), en particulier lorsque la rugosité

de surface est faible et uniforme (par exemple, moins de 0,5nm RMS sur un scan AFM de 30x30μm^2, avec une uniformité inférieure à 0,3nm), le bruit de fond diffus peut être corrélé à l'épaisseur de la couche superficielle (Brun et al, « Defect inspection challenges and solutions for ultra-thin SOI » – 2012 SEMI Advanced Semiconductor Manufacturing Conference).

[0047] En effet, la réflectance diffuse est alors très faiblement affectée par la rugosité de surface et elle est corrélée à la réflectance spéculaire, dans la cas particulier où la couche superficielle est suffisamment transparente à la longueur d'onde du faisceau laser, de manière à sonder toute l'épaisseur de la couche.

[0048] Ainsi, dans le deuxième mode de réalisation, la caractéristique physique imagée par la cartographie de l'étape b) est le bruit de fond diffus. Ce mode de réalisation est particulièrement avantageux en ce que, l'inspection de surface par diffusion laser étant requise pour vérifier le niveau de défectivité d'un substrat SOI, la réalisation de la cartographie de bruit de fond diffus n'ajoute pas de temps de métrologie dans le procédé de production du substrat SOI.

[0049] Revenant à la description générale de la méthode selon l'invention, **l'étape c)** suivante correspond à l'analyse de la cartographie obtenue à l'étape b), de manière à identifier s'il existe une signature susceptible de traduire une variation d'épaisseur, supérieure ou égale à la différence entre le premier maximum et le premier minimum, dans une région localisée de la couche superficielle.

[0050] En prenant comme exemple la cartographie de la [Fig.2] (premier mode de réalisation de l'étape b), on remarque un motif ondulatoire S1 qui s'étend globalement sur toute la surface de la couche superficielle. Cette signature S1 est visible sur la cartographie (motif marqué par rapport aux zones environnantes), et elle est également caractérisée par une forte variation d'épaisseur.

[0051] En prenant comme exemple la cartographie de la [Fig.3] (deuxième mode de réalisation de l'étape b), on remarque également au moins une signature S2 correspondant à une variation d'intensité anormale du signal de bruit de fond diffus, et qui se présente sous forme d'une onde périodique. D'autres signatures peuvent se présenter sous forme d'un motif ponctuel, d'une onde apériodique, ou d'autres motifs.

[0052] Avantageusement, la signature est identifiée sur la cartographie par l'intermédiaire d'un algorithme de reconnaissance d'images ou par seuillage de l'intensité du signal de bruit de fond diffus.

[0053] Un algorithme de reconnaissance d'images peut être alimenté et entrainé sur différents types de signatures susceptibles d'être présentes sur une cartographie de bruit de fond diffus ; il peut ainsi apprendre à reconnaître chacune de ces signatures et à les classer dans des catégories prédéfinies, en prenant en compte des critères de taille, forme, contraste, etc.

[0054] Les signatures peuvent alternativement être identifiées en appliquant un certain seuil (ou plusieurs seuils) à l'intensité du signal de bruit de fond diffus, sur des paramètres tels que l'écart-type, la médiane relative ou la moyenne relative du signal : une intensité détectée au-delà (ou en-deçà) du seuil sur la cartographie traduit alors une signature susceptible de correspondre à une variation importante d'épaisseur, dans une région localisée de la couche superficielle.

[0055] Les figures 4a, 4b, 4c et 4d montre quatre exemples de cartographies de bruit de fond diffus sur lesquelles différentes signatures sont relevées (entourées par un carré blanc). Sur la [Fig.4a], la signature S3 correspond à un motif ponctuel, traduisant une surépaisseur localisée de la couche superficielle. Sur la [Fig.4b], la signature S4 correspond à une rayure partant du bord de la plaque et s'étendant vers l'intérieur de la couche, elle peut engendrer une variation importante d'épaisseur de la couche superficielle. Sur la [Fig.4c], la signature S5 correspond à une zone sombre étendue, traduisant une surépaisseur de la couche superficielle. Enfin, sur la [Fig.5d], la signature S6 correspond à un motif ondulatoire se caractérisant par des variations d'épaisseur de la couche superficielle.

[0056] A titre d'exemple, lorsque des seuils sont appliqués pour détecter les signatures :

- une signature S3 de type motif ponctuel est identifiée lorsque la médiane relative du signal de bruit de fond diffus collecté dans le canal « narrow » (« haze narrow ») est supérieure à 0,025 ;
- une signature S4 de type rayure ou autres variations fines est identifiée lorsque l'écart type du signal de bruit de fond diffus collecté dans le canal « narrow » (« haze narrow ») est supérieure à 0,04 ;
- une signature S5 de type zone étendue de surépaisseur est identifiée lorsque la médiane relative du signal de bruit de fond diffus collecté dans le canal « narrow » (« haze narrow ») est inférieure à 0,95 ;
- une signature S6 de type onde est identifiée lorsque la moyenne relative du signal de bruit de fond diffus collecté dans le canal « wide » (« haze wide ») est inférieure à -0,006.

[0057] Pour rappel, dans un équipement de type SPx, la lumière diffusée venant du substrat est collectée, soit par un miroir elliptique, pour les rayons d'incidence éloignés de la normale (z) au plan principal (x,y) de la couche (collecteur appelé « wide » ou canal « wide »), soit par une lentille, pour les rayons d'incidence proche de la normale (z) (collecteur appelé « narrow » ou canal « narrow »).

[0058] L'étape b) et l'étape c) peuvent être réalisées sur un seul et même équipement, lequel met en œuvre la deuxième technique et comprend un module d'analyse pour repérer les signatures potentielles sur la cartographie.

[0059] Alternativement, l'étape c) peut être réalisée par un autre équipement comprenant le module d'analyse. Ce dernier reçoit les fichiers de cartographie de bruit de fond diffus établis à l'étape b), leur applique la détection de signatures (via un algorithme de reconnaissance d'images ou par seuillage), et génère, en cas de présence de signatures d'intérêt, un fichier comportant la localisation des signatures en question.

[0060] Si aucune signature n'est relevée sur la cartographie issue de l'étape b), le calcul du ou des paramètre(s) d'épaisseur (parmi lesquels, par exemple l'uniformité) peut être fait à partir de la première série de valeurs obtenue à l'étape a). L'absence de signature vient conforter le fait que ces valeurs d'épaisseur sont représentatives de l'intégralité de la couche superficielle.

[0061] Si au moins une signature d'intérêt est relevée sur la cartographie, la méthode selon l'invention prévoit une **étape d)** de mesure d'épaisseur en un deuxième point ou en une pluralité de deuxièmes points positionnés dans la région localisée (attachée à la signature sur la cartographie). Cette étape de mesure d'épaisseur résulte en une deuxième valeur (dans le cas d'un seul deuxième point de mesure) ou en une deuxième série de valeurs, comprenant un deuxième maximum et/ou un deuxième minimum. La mesure est opérée en utilisant la première technique (par exemple, ellipsométrie spectrale).

[0062] Préférentiellement, à l'issue de l'étape c), il est attribué des coordonnées à la signature, dans le plan principal, par le deuxième équipement (celui mettant en œuvre la deuxième technique). Ces coordonnées sont communiquées automatiquement, préalablement à l'étape d), au premier équipement mettant en œuvre la première technique, via la génération d'un fichier comportant la localisation de la signature.

[0063] Dans le premier équipement, les deuxièmes points sont positionnés dans le plan principal selon des schémas de répartition établis en fonction de la forme et du type de signature. Dans les exemples illustrés sur les figures 4a, 4b, 4c, 4d, on observe que les schémas de répartition des deuxièmes points peuvent se présenter sous forme de croix, centrée sur les coordonnées du centre de la signature. La croix présente une taille supérieure à la signature pour qu'au moins les points extrêmes de ladite croix tombent en dehors de la signature : cela permet d'assurer que la signature a bien été évaluée en totalité. Sur les figures, la taille du carré entourant tout ou partie du schéma de répartition des deuxièmes points est indiquée au-dessus dudit carré.

[0064] Dans l'exemple de la [Fig.4d], une répartition en étoile ou concentrique est préférée pour capter les variations d'épaisseur éventuelles dans toutes les directions ; une forte densité de deuxièmes points au centre favorise la détection de l'extremum d'épaisseur, et les points extérieurs, plus éloignés (à 10mm typiquement) capturent l'autre extremum d'épaisseur du motif ondulatoire.

[0065] Préférentiellement, les deuxièmes points sont au nombre de 10, 16 ou 25, pour éviter de prendre trop de temps de mesure. Bien sûr, tout autre nombre de deuxièmes points est envisageable, en fonction de la taille, forme et type de signature.

[0066] Bien sûr, si plusieurs signatures sont identifiées sur la cartographie, chacune des régions localisées de la couche superficielle correspondant à ces signatures sera évaluée lors de l'étape d), par une mesure d'épaisseur locale.

[0067] La méthode de mesure selon l'invention comprend enfin une **étape e)** correspondant au calcul d'au moins un paramètre d'épaisseur de la couche superficielle, basé sur la première série de valeurs et, potentiellement sur la deuxième série de valeurs, si l'étape d) a eu lieu.

[0068] Dans le cas particulier où le -au moins un- paramètre d'épaisseur est l'uniformité, les premiers minimum et maximum sont comparés aux deuxièmes minimum et maximum : le plus faible des minima et le plus élevé des maxima est alors pris en considération pour déterminer l'uniformité d'épaisseur de la couche.

[0069] L'étape e) peut également comprendre le calcul d'autres paramètres d'épaisseur d'intérêt, à savoir la moyenne, la médiane, l'écart-type, etc. Ces derniers pourront être établis à partir de la première série de valeurs, éventuellement complétée de la deuxième série de valeurs.

Exemples

[0070]
- SOI : épaisseur moyenne de la couche superficielle en silicium 12nm ; épaisseur de la couche d'oxyde (SiO_2) enterré 25nm ;
- Étape a) : mesure sur 41 premiers points ([Fig.5a]) par ellipsométrie spectrale (premier équipement, première technique) ; obtention d'une première série de valeurs d'épaisseur : maximum 12,29nm, minimum 11,66nm ;
- Étape b) : cartographie de bruit de fond diffus (deuxième équipement, deuxième technique) ([Fig.5b]) ;
- Étape c) : analyse de la cartographie (module d'analyse), identification d'une signature de type motif ponctuel ([Fig.5c]) et transfert des coordonnées de la signature au premier équipement ;
- Étape d) : mesure sur 9 deuxièmes points, selon une répartition en croix, centrée sur la signature, par ellipsométrie spectrale (premier équipement, première technique), obtention d'une deuxième série de valeurs d'épaisseur : maximum 14,47nm, minimum 13,15nm ;
- Étape e) : calcul des paramètres d'épaisseur pour obtenir en particulier une uniformité, basée sur la première et la deuxième séries de valeurs, de 2,81nm ; l'uniformité basée sur la première série de valeurs était de 0,64nm. Pour

une spécification d'uniformité d'épaisseur de 1nm, la mesure de l'étape d) a permis d'identifier que la couche superficielle de ce SOI ne répondait pas à la spécification, alors que la première série de valeur (étape a)) seule n'aurait pas suffi pour le relever.

[0071] La méthode de mesure selon la présente invention améliore drastiquement la fiabilité des paramètres d'épaisseur (moyenne, minimum, maximum, uniformité) pris en compte pour la gradation d'un substrat SOI. Ces paramètres sont représentatifs de la couche superficielle sur toute sa surface et les spécifications attendues sont ainsi parfaitement respectées.

[0072] Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux modes de réalisation et aux exemples décrits, et on peut y apporter des variantes de réalisation sans sortir du cadre de l'invention tel que défini par les revendications.

Revendications

[Revendication 1] **Méthode de mesure d'au moins un paramètre d'épaisseur d'une couche superficielle d'un substrat SOI**, la couche superficielle présentant une surface s'étendant selon un plan principal (x,y), la méthode comprenant les étapes suivantes :

a) la mesure d'épaisseur en un nombre prédéfini de premiers points, distribués spatialement sur la surface, résultant en une première série de valeurs comprenant un premier maximum et un premier minimum ; la mesure d'épaisseur étant opérée par une première technique et les premiers points ne couvrant pas la surface dans sa totalité ;

b) la réalisation d'une cartographie complète de la surface de la couche superficielle par une deuxième technique, différente de la première technique, la cartographie traduisant une caractéristique physique de la couche superficielle corrélée à l'épaisseur ;

c) l'analyse de la cartographie de manière à identifier s'il existe une signature susceptible de traduire une variation d'épaisseur, supérieure ou égale à la différence entre le premier maximum et le premier minimum, dans une région localisée de la couche superficielle ;

d) si une signature est identifiée, la mesure d'épaisseur en un deuxième point ou une pluralité de deuxièmes points positionné(s) dans la région localisée, résultant en une deuxième série de valeur(s) comprenant un deuxième maximum et/ou un deuxième minimum ; la mesure d'épaisseur étant opérée par la première technique ;

e) le calcul du -au moins un- paramètre d'épaisseur, basé sur la première série de valeurs et, potentiellement sur la deuxième série de valeur(s).

[Revendication 2] Méthode de mesure selon la revendication précédente, dans laquelle la couche superficielle présente une épaisseur moyenne inférieure ou égale à 50nm, inférieure ou égale à 25nm, inférieure ou égale à 20nm, ou encore inférieure ou égale à 15nm.

[Revendication 3] Méthode de mesure selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la deuxième technique est la réflectométrie et la caractéristique physique est l'épaisseur.

[Revendication 4] Méthode de mesure selon la revendication 2, dans laquelle la deuxième technique est basée sur une inspection de surface par diffusion laser dans laquelle un faisceau laser effectue un balayage de

la surface de la couche superficielle, et la caractéristique physique est le bruit de fond diffus (« haze »).

[Revendication 5] Méthode de mesure selon la revendication précédente, dans laquelle une signature correspond à une variation d'intensité anormale du signal de bruit de fond diffus, et peut se présenter sous forme d'un motif ponctuel, d'une onde périodique, ou d'autres motifs.

[Revendication 6] Méthode de mesure selon l'une des deux revendications précédentes, dans laquelle la signature est identifiée sur la cartographie par l'intermédiaire d'un algorithme de reconnaissance d'images ou par seuillage de l'intensité du signal de bruit de fond diffus.

[Revendication 7] Méthode de mesure selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle :
- à l'issue de l'étape c), il est attribué des coordonnées à la signature, dans le plan principal, par un équipement – dit deuxième équipement – mettant en œuvre la deuxième technique, et
- lesdites coordonnées sont communiquées, préalablement à l'étape d), à un premier équipement mettant en œuvre la première technique.

[Revendication 8] Méthode de mesure selon la revendication précédente, dans laquelle les deuxièmes points sont positionnés dans le plan principal selon des schémas de répartition établis en fonction de la forme de la signature.

[Revendication 9] Méthode de mesure selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le -au moins un- paramètre d'épaisseur calculé à l'étape e) est l'uniformité.

[Revendication 10] Méthode de mesure selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle plusieurs paramètres d'épaisseur sont calculés à l'étape e), parmi lesquels une moyenne, et/ou une médiane, et/ou un écart-type.

[Revendication 11] Méthode de mesure selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle la première technique est l'ellipsométrie spectrale.

[Revendication 12] Méthode de mesure selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle le nombre prédéfini de premiers points est 12, 41 ou 625.

[Revendication 13] Méthode de mesure selon l'une des revendications précédentes, dans laquelle les deuxièmes points sont au nombre de 2, 9, 16 ou 25.