

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE

N° attribué par la bibliothèque

/ / / / / / / / / / / / / / / /

THESE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'INPG

Spécialité : Optique et Radiofréquences

Préparée au laboratoire : «**Institut de Microélectronique, Electromagnétisme et photonique**»

dans le cadre de l'Ecole Doctorale «**Electronique, Electrotechnique, Automatisme et Traitement du Signal**»

présentée et soutenue publiquement

par

Fayçal RAHMOUNE

Le 28 Septembre 2004

Titre :

**CONTRIBUTION A L'ETUDE DES DEFAUTS DE L'INTERFACE
SILICIUM/ISOLANT DANS LES TRANSISTORS
MOS AVANCES**

Directeur de thèse :

Francis BALESTRA, DR CNRS

JURY

**M. G. GHIBAUDO DR CNRS
M. Y. DANTO Prof. Univ. Bordeaux
M. P. MASSON HDR, MC. Univ. Aix-Marseille
M. F. BALESTRA DR CNRS
M. D. BAUZA CR CNRS**

**Président
Rapporteur
Rapporteur
Directeur de thèse
Co-encadrant**

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

CHAPITRE 1 : L'INTERFACE Si/SiO₂

1.1 Introduction.....	9
1.2 L'oxyde SiO₂ et son interface avec le silicium Si.....	9
1.2.1 Structure de l'oxyde SiO ₂	9
1.2.2 Les défauts dans l'oxyde.....	10
1.2.3 Les types de charges dans l'oxyde.....	10
1.2.3.1 La charge fixe (Q_f).....	11
1.2.3.2 La charge piégée des états d'interface(Q_{it}).....	11
1.2.3.3 La charge piégée (Q_t).....	12
1.2.3.4 La charge mobile ionique (Q_m).....	12
1.2.4 Diagramme de bande de la structure MOS.....	13
1.3 Caractéristiques des états d'interface.....	13
1.3.1 Les états d'interface.....	13
1.3.2 Propriétés générales.....	14
1.3.2.1 La statistique Shockley-Read-Hall (SRH).....	14
1.3.3 Distribution énergétique.....	16
1.3.4 Section de capture à l'interface.....	17
1.3.5 Les états lents et les états rapides.....	17
1.3.6 Modèles de capture des porteurs.....	17
1.4 Propriétés de transport dans l'oxyde.....	19
1.4.1 Les différents mécanismes de transport dans l'oxyde.....	19
1.5 Dégradation du système Si-SiO₂.....	20
1.5.1 Introduction à la dégradation des oxydes.....	20
1.5.2 Dégradation des interfaces.....	21
1.6 Les oxydes ultra minces.....	21
1.6.1 Les problèmes de caractérisation.....	21
1.6.2 Méthodes de caractérisation.....	22

CHAPITRE 2 : CARACTERISATION DE L'INTERFACE Si/SiO₂

2.1 Introduction	25
2.2 La technique de pompage de charges	25
2.2.1 Principe de la technique	25
2.2.1.1 Montage expérimental.....	26
2.2.1.2 Analyse des phénomènes physiques.....	26
2.2.1.3 Modèle de Brugler et al.....	27
2.2.2 Modèle de Groeseneken et al.....	28
2.2.2.1 Introduction.....	28
2.2.2.2 Expression du courant pompé en tenant compte de l'émission.....	31
2.2.2.3 Courbes conventionnelles de pompage de charges.....	33
2.2.2.4 Evaluation de la section de capture.....	34
2.2.3 Modèle de Wachnick et Lowney.....	35
2.2.3.1 Introduction.....	35
2.2.3.2 Expression du courant pompé.....	36
2.2.4 Approche du pompage de charges en profondeur vers l'oxyde.....	38
2.2.4.1 Approche de Declercq et Jaspers.....	38
2.2.4.2 Approche de Paulsen.....	39
2.2.4.3 Approche de Bauza et Ghibauda.....	40
2.2.4.3.1 Développement du modèle.....	40
2.2.4.3.2 Extraction du profil des défauts en direction de l'oxyde.....	43
2.2.4.3.3 Validation de la technique.....	46
2.3 La technique de Tanner et al	47
2.3.1 Principe de la technique.....	47
2.3.2 Théorie.....	48
2.3.3 Profil des défauts.....	50
2.4 Comparaison entre le pompage de charges et la technique de Tanner et al	51

CHAPITRE 3 : ETUDE DES PROPRIETES DE CAPTURE DES PIEGES DE L'INTERFACE SILICIUM/ISOLANT

3.1 Introduction	55
3.2 Etude des profils en profondeur des défauts	55
3.2.1 Description du banc de mesures.....	55
3.2.2 Influence d'une distribution en énergie des sections de capture sur l'extraction des profils.....	56
3.2.2.1 Simulation des profils à partir de $\sigma(E)$	56
3.2.2.2 Simulation de l'effet de $\sigma(E)$ sur les profils.....	59
3.2.2.3 Application au Ta ₂ O ₅	60
3.2.3 Effet des fluctuations de potentiel de surface sur les profils.....	65
3.3 Modèle de capture par activation thermique	67
3.3.1 Introduction.....	67
3.3.2 Les dispositifs étudiés.....	68
3.3.3 Extraction des profils de pièges dans le cas d'un modèle de capture activée thermiquement	68
3.3.4 Etude en température des courbes de pompage de charges.....	70
3.3.5 Prise en compte du gel des dopants.....	71
3.3.6 Profils obtenus à température constante (T = cte).....	73
3.3.7 Comparaison des deux modèles à partir de parties de profil mesurées à différentes températures.....	74
3.3.7.1 Partie exponentielle.....	74
3.3.7.2 Plateau.....	75
3.4 Caractérisation des états lents par la technique de Tanner et al.	76
3.4.1 Introduction.....	76
3.4.2 Extraction des profils des pièges.....	77
3.4.3 Limitations de la technique.....	78
3.5 Conclusion	80

CHAPITRE 4 : ETUDE DES DEFAUTS DANS DES MOSFETs A OXYDE ULTRA MINCE

4.1 Introduction	85
4.2 Méthode de Ghetti et al.	85
4.2.1 Introduction.....	85
4.2.2 Description du phénomène.....	86
4.2.3 Développement du modèle.....	86
4.2.4 Application à la dégradation.....	88
4.3 Méthode de Bauza	89
4.3.1 Introduction.....	89
4.3.2 Pompage de charges en mode petites impulsions.....	90
4.4 Etude des défauts en fonction du stress électrique	95
4.4.1 Introduction.....	95
4.4.2 Description du banc de mesure.....	96
4.4.3 Les dispositifs utilisés.....	96
4.4.4 Problèmes liés à l'utilisation du HP 4155A.....	97
4.4.5 Epaisseur d'oxyde $d_{ox} = 2.3$ nm.....	98
4.4.5.1 Evolution de la densité de défauts.....	98
4.4.5.2 Extraction du profil des pièges et de leur section de capture.....	100
4.4.5.3 Discussion.....	101
4.4.6 Epaisseur d'oxyde $d_{ox} = 1.8$ nm et 1.5 nm.....	102
4.4.7 Epaisseur d'oxyde $d_{ox} = 1.2$ nm.....	105
4.4.7.1 Evolution de la densité de défauts.....	105
4.4.7.2 Extraction du profil des pièges et de leur section de capture.....	106
4.4.7.3 Discussion.....	107
4.5 Conclusion	108

CONTRIBUTION TO THE STUDY OF THE DEFECTS OF THE SILICON/INSULATOR INTERFACE IN ADVANCED MOS TRANSISTORS

Summary

The aim of this work is the study of the defects (fast states and slow states) of the silicon/insulator interface. The first part of this work is the continuation of a thesis work on the in-depth approach of the charge pumping technique. First, we have shown that the trap profiles obtained by this technique are due to the capture time constant distribution and not to the capture cross section energy distribution. Also, we found that surface potential fluctuations contribute to the widening of the peak of the simulated profile which is in good agreement with the as-measured profile. Second, we have compared the two models pure tunneling and thermally activated capture. The former is suitable for explaining the plateau region while the second is in agreement with the exponential part. Finally, we have compared the profiles measured by charge pumping with those obtained by that technique of Tanner et al. In the second part of this work, we have presented two recent characterization techniques of the Si-SiO₂ interface in the MOSFET's with ultra thin oxide. One is based on the SILC approach, the other on the charge pumping. These two techniques are used to study the evolution of defect density with electrical stress. We have shown that the defect generation rate obtained by charge pumping is lower than that obtained by SILC approach for oxide thickness between 1.2 nm and 2.3 nm. We have also observed that the generation rate obtained by SILC approach depends on the probed gate voltage.

Key words

Si/SiO₂ interface – Charge pumping – Fast states – Slow states – Capture cross sections – Tunneling – Thermally activated capture – Ultra thin oxide – Electrical stress.

CONTRIBUTION A L'ETUDE DES DEFAUTS DE L'INTERFACE SILICIUM/ISOLANT DANS LES TRANSISTORS MOS AVANCES

Résumé

Le but de ce mémoire est l'étude des défauts (états rapides et états lents) de l'interface Silicium/Isolant. La première partie de ce mémoire est la suite d'un travail de thèse sur l'analyse en profondeur des défauts de l'interface Si-SiO₂ par la technique du pompage de charges. Dans un premier temps, nous avons montré que le profil de pièges obtenu par cette technique est dû à une distribution de constante de temps de capture et non à une distribution en énergie des valeurs de section de capture. Nous avons trouvé aussi que les fluctuations de potentiel de surface contribuent à l'élargissement du pic du profil brut simulé ce qui est en très bon accord avec le profil brut mesuré. Dans un deuxième temps, nous avons comparé les deux modèles de capture par effet tunnel pur et de capture activée thermiquement. Le premier est plus favorable pour expliquer la partie du plateau tandis que le second est plus favorable pour la partie exponentielle du profil. Enfin nous avons comparé les profils mesurés par pompage de charges avec ceux obtenus par la technique de Tanner et al. Dans la deuxième partie de ce travail, nous avons présenté deux techniques récentes de caractérisation de l'interface Si-SiO₂ dans les MOSFET's à oxyde ultra mince. L'une est basée sur l'approche SILC, l'autre sur le pompage de charges. Ces deux techniques ont été utilisées pour étudier l'évolution de la densité de défauts avec le stress électrique. Nous avons montré que la cinétique de génération de défauts obtenue par pompage de charges est inférieure à celle obtenue par l'approche SILC pour des épaisseurs d'oxyde entre 1.2 nm et 2.3 nm. Nous avons observé aussi que la cinétique de génération de défauts obtenue par l'approche SILC dépend de la tension de grille explorée.

Mots clés

Interface Si/SiO₂ – Pompage de charges – Etats rapides – Etats lents – Sections de capture – Tunneling – Capture activée thermiquement – Oxyde ultra mince – Contrainte électrique.

Institut de Microélectronique, Electromagnétisme et Photonique, UMR 5130 CNRS-INPG-UJF
IMEP-ENSERG, 23 rue des Martyrs, BP 257, 38016 GRENOBLE CEDEX, FRANCE