

# Effets de porteurs chauds dans les transistors MOS/SOI ultra-submicroniques

François Dieudonné  
Laboratoire de Physique des Composants à Semiconducteurs (L.P.C.S.)  
E.N.S.E.R.G.  
23 rue des Martyrs - BP 257 - 38016 GRENOBLE, France

E-mail : . dieudonn@enserg.fr

## Résumé

Les dispositifs SOI (Silicium sur Isolant) ont montré ces dernières années des avantages significatifs par rapport à ceux issus des technologies conventionnelles sur Silicium massif. Après une introduction aux mécanismes de génération et d'injection de porteurs chauds dans les transistors MOS/SOI, nous présenterons quelques méthodes existantes pour caractériser les effets de porteurs chauds. Enfin, nous verrons en quoi celles-ci nous permettent d'étudier et de comparer la fiabilité de composants MOS/SOI et MOS/Si massif.

## 1. Introduction

Face à la constante réduction d'échelle des dispositifs à semiconducteurs, et avec l'émergence de besoins croissants en applications faible puissance / basse consommation liée à l'essor de l'électronique portable, les composants MOS sur SOI se présentent comme une alternative aux technologies Silicium massif [1]. Isolation totale grâce à la présence d'un oxyde enterré, réduction des capacités parasites et des effets de canaux courts font du SOI un des meilleurs candidats potentiels pour l'intégration des futures générations de circuits CMOS.

Avec la diminution importante des longueurs de grille des transistors, et aux tensions d'alimentation utilisées, l'augmentation du champ électrique dans le canal et plus particulièrement au voisinage du drain induit localement des porteurs très énergétiques. Ces porteurs "chauds" peuvent alors ioniser d'autres porteurs ou être directement injectés dans les oxydes avant et arrière, causant des problèmes de fiabilité des dispositifs utilisés.

## 2. Génération et injection de porteurs chauds

Les différents régimes observés sont principalement reliés aux polarisations appliquées sur la grille de commande et le drain [2].

### 2.1 Porteurs chauds générés par ionisation par impact

Sous l'action d'un fort champ électrique latéral, les porteurs du canal issus de la source sont fortement accélérés et gagnent de l'énergie, énergie qu'ils cèdent aux atomes du

réseau cristallin lors de collisions. Si l'énergie cédée est supérieure à l'énergie d'ionisation, il y a alors génération de paires électrons-trous qui se dissocient de façon instantanée. L'ionisation primaire se produit près du drain qui collecte les électrons et repousse les trous vers le substrat. Pour  $V_g \approx V_d/2$  (Si massif), on a ainsi affaire à la condition de courant de substrat maximal.

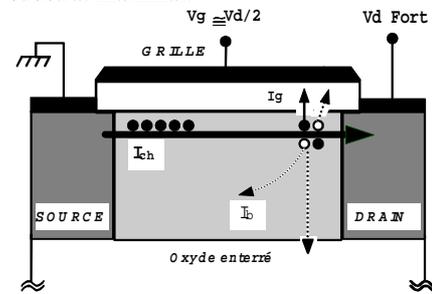


Figure 1. Injection de porteurs chauds issus de l'ionisation par impact primaire dans un transistor MOS/SOI

### 2.2 Porteurs énergétiques du canal

Au voisinage du drain, région de champ électrique transversal intense, et à condition d'avoir acquis suffisamment d'énergie lors de leur parcours dans le canal, des électrons peuvent franchir la barrière d'énergie Si/SiO<sub>2</sub> et être directement injectés dans l'oxyde de grille avant. Ces électrons sont à la base de la création d'un courant de grille, et leur action est maximale lorsque  $V_g \approx V_d$ .

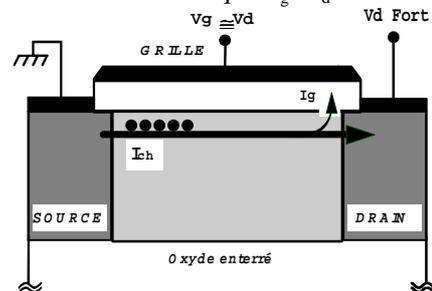


Figure 2. Injection d'électrons énergétiques dans l'oxyde de grille avant d'un transistor MOS/SOI

### 2.3 L'effet de transistor bipolaire parasite

Aux faibles  $V_g$ , les trous générés par ionisation par impact (2.1) s'accumulent dans le substrat flottant (le film de Silicium n'est pas relié à la masse comme dans un transistor MOS conventionnel) jusqu'à polariser en direct la

jonction substrat/source (base/émetteur du transistor bipolaire parasite ainsi créé). Le courant de collecteur d'électrons généré s'ajoute alors au courant intrinsèque du canal et renforce le taux d'ionisation par impact. Ce type d'injection se caractérise principalement par une injection bipolaire dans l'oxyde de grille avant, et éventuellement par un vieillissement de la face arrière.

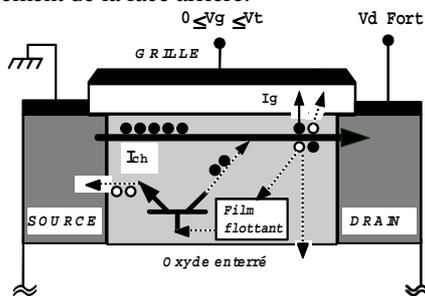


Figure 3. Injection bipolaire par effet du transistor bipolaire parasite dans un transistor MOS/SOI

### 3. Méthodes pour caractériser les effets de porteurs chauds

L'analyse des effets de porteurs chauds est un point essentiel dans l'étude de la fiabilité de filières technologiques dans le domaine de la microélectronique. Diverses méthodes existent pour étudier la dégradation par porteurs chauds, et deux grandes familles de méthodes prédominent.

La première s'intéresse à l'analyse de la génération des porteurs chauds (suivi des courants de grille et de substrat, évolution de l'émission de photons), tandis que la seconde regroupe des méthodes consistant à évaluer le vieillissement de dispositifs soumis à un régime de contrainte électrique accélérée (dégradation des principaux paramètres électriques comme la transconductance, la tension de seuil et le courant de drain, mesures de bruit basse fréquence, technique de pompage de charges).

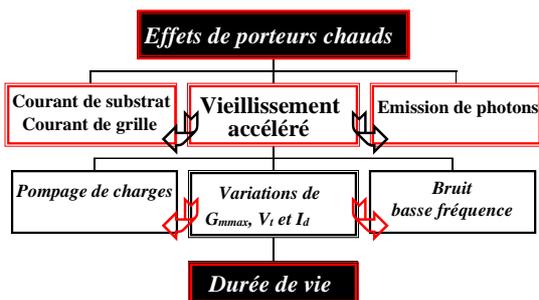


Figure 4. Méthodes d'analyse des effets de porteurs chauds

Le vieillissement accéléré consiste à appliquer des polarisations supérieures à celles dites de fonctionnement nominal pour des durées de l'ordre de 10000 à 50000 secondes, de sorte à amplifier les champs électriques et ainsi augmenter la présence de porteurs chauds dans les différents régimes d'injection observés. A partir de ces résultats, il est possible d'extrapoler une durée de vie des dispositifs lors de leur fonctionnement opérationnel, les conditions critiques usuellement choisies étant une dégradation de 10 % du maximum de transconductance, et une variation de 100 mV de la tension de seuil [3].

### 4. Fiabilité des composants MOS/SOI et MOS/Si massif

Différents critères propres au fonctionnement du transistor MOS sont à prendre en compte lorsque l'on réalise des études de fiabilité.

Hormis la maîtrise temporelle des paramètres électriques, un contrôle rigoureux des effets de canaux courts s'impose dans la course à la miniaturisation actuelle. Celui-ci doit s'associer à l'obtention de courants de fuite les plus bas possibles, ces derniers étant fortement liés à la consommation de puissance des circuits à l'état OFF.

Avec la montée incessante des fréquences de fonctionnement des circuits analogiques et numériques, la tenue en fréquence est à considérer, notamment pour des dispositifs dédiés à des applications radiofréquences, tout en prenant soin de minimiser la dissipation de chaleur associée. En effet, les phénomènes de porteurs chauds étant particulièrement sensibles à la température, son influence sera analysée selon le type d'application recherchée (fonctionnement à basses ou hautes températures) [3].

En ce qui concerne les transistors MOS/SOI, les mécanismes spécifiques à la structure comme les phénomènes de couplage d'interfaces, d'auto-échauffement et de substrat flottant seront pris en considération.

### 5. Conclusion

Au regard des mécanismes de dégradation par porteurs chauds, et afin de comparer au mieux les dispositifs SOI à ceux en Si massif, divers axes d'études sont envisageables. L'impact de l'architecture (Gate & Drain engineering, isolation...) et des procédés technologiques sur les performances intrinsèques sera ainsi évalué.

De même, différentes familles de composants SOI (*Partially Depleted*, *Fully Depleted*, *DTMOS-Dynamic Threshold*) seront étudiées au regard de paramètres technologiques variables (épaisseurs de films, contact substrat...). De plus, de nouvelles architectures innovantes comme les transistors MOS/SOI *Fully Depleted* double grille ou les transistors MOS verticaux pourront également être caractérisées dans le cadre de nos études.

Une meilleure compréhension des phénomènes physiques mis en jeu à l'aide d'outils de simulation et de modélisation permettra de garantir l'optimisation et les performances des technologies développées.

### Références

- [1] Ghavam G. Shahidi, Mainstreaming of the SOI technology, *Proc. ESSDERC'99*, pp. 3-10, Septembre 1999.
- [2] E.Takeda et al., *Hot-Carrier Effects in MOS Devices*, Academic Press, pp. 43-65, 1995.
- [3] S-H. Renn, A Thorough Investigation of the Degradation Induced by Hot-Carrier Injection in Deep Submicron N- and P-Channel Partially and Fully Depleted Unibond and SIMOX MOSFET's, *IEEE Transactions on Electron Devices*, vol. 45, n°10, pp. 2146-2152, Octobre 1998.