COST
Communication Science & Technologie N° 2 . Décembre 2003

MODELE A GRANDS GRAINS POUR LES TRANSISTORS EN COUCHE MINCE (TFT)

A.FERADJI , A.SAIDANE
Laboratoire CaSiCCE, ENSET d'Oran BP 1523 EL-M'naouer Oran
e-mail : feradjia@yahoo.fr , saidane@yahoo.com

Résumé :
La technologie des transistors en couche mince (Thin Film Transistors ou TFT) date du début des années '70. Le domaine technologique des écrans plats était un des facteurs les plus importants pour le développement de cette technologie. Pendant les dix dernières années, des TFT en silicium amorphe (a-Si) ont été utilisés dans les écrans à cristaux liquides de type AMLCD (Active Matrix Liquid Crystal Displays). Récemment le silicium polycristallin (Si-poly) a commencé à être utilisé dans les TFT des écrans AMLCD, en raison de ses meilleures propriétés électriques afin d'intégrer les circuits de contrôle (driving circuits) sur l'écran. Les modèles mathématiques existants considèrent la couche mince du Si-poly comme uniforme alors qu'en réalité elle ne l'est pas, elle est constituée de grains et de joins de grains. Dans ce contexte nous allons présenter un nouveau modèle de Id(Vg) pour les TFT à grands grains.

Mots clés :
Silicium polycristallin, TFT, Grain, Joint de grain

I-Introduction

Durant les dix dernières années, les moyens technologiques ont beaucoup évolué et des couches de Si-poly à grands grains de bonne qualité ont été obtenues. Jusqu'à présent, les modèles souvent utilisés considéraient le Si-poly comme un matériau uniforme dont l'équation est donnée par :

$$I_{DS}=\frac{W}{L}C_{ox}\mu_o(V_{GS}-V_T)V_{DS}\exp(-qV_b/kT)\frac{1}{1+\theta(V_{GS}-V_T)} \quad (1)$$

Il est évident que ce modèle est adéquat pour la caractérisation des TFT à petits grains. Lorsque la taille moyenne des grains augmente et devient comparable aux dimensions des transistors (largeur et longueur de canal), de nouvelles approches sont nécessaires. Nous présentons ci-dessous un modèle à grands grains valable en régime linéaire qui considère les grains et les joints de grains comme deux régions séparées.

II-Modèle à grand grains

En partant du profil des bandes d'énergie dans le Si-poly, fig.1, nous pouvons considérer cette structure comme deux résistances R_G et R_{GB} représentant respectivement les grains et les joints de grains. Elles sont modulées par la tension de grille V_{GS}.

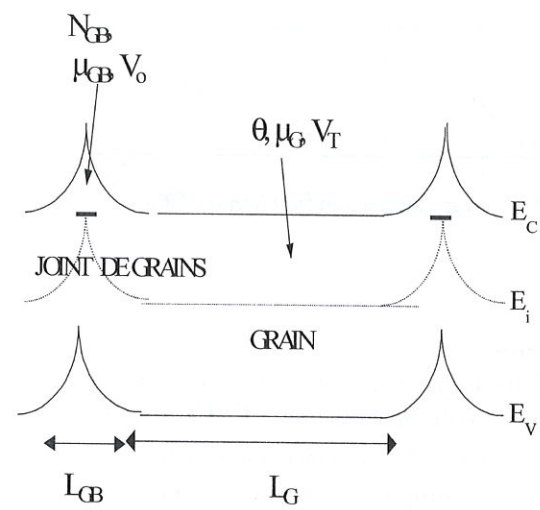

Figure 1 : Diagramme de bandes d'énergie dans la direction latérale dans le Si-poly d'un TFT à canal n sous une faible tension de drain

Selon la théorie standard du MOSFET, la résistance totale du canal R_{Ch} est donnée par :

$$R_{Ch}=\frac{L}{W\mu_{eff}Q_{invG}}=nR_G+nR_{GB}=\frac{nL_G}{W\mu_G Q_{invG}}+\frac{nL_{GB}}{W\mu_{GB}Q_{invGB}} \quad (2)$$

où μ_{eff} est la mobilité effective des électrons, L_G la longueur du grain, L_{GB} la longueur du joint de grains, μ_G la mobilité effective des électrons dans les grains, μ_{GB} la mobilité effective des électrons dans les joints de grains, Q_{inv} la charge dans la couche d'inversion (Q_{invG} dans le grain et Q_{invGB} dans le joint de grains).

La charge dans les joints de grains Q_{invGB} est donnée par :

$$Q_{invGB}=e^{-qV_b(V_{GS})/kT}Q_{invG} \qquad (3)$$

Lorsque V_b diminue suffisamment pour de fortes tensions de grille; on peut écrire :

$$\mu_{eff}=\mu_G$$

Sachant que : $L=nL_G+nL_{GB}$,
on obtient :

$$\frac{L}{\mu_{eff}}=\frac{L-nL_{GB}}{\mu_G}+n\frac{L_{GB}}{\mu_{GB}e^{-qV_b/kT}} \qquad (4)$$

La valeur moyenne du nombre des joints de grains dans le canal du transistor est :

$$n=L/L_G$$

et donc

$$L/(nL_{GB})=L_G/L_{GB}$$

Moyennant certaines approximations, l'équation donnant μ_{eff} peut être simplifiée et donnée par :

$$\mu_{eff}=\mu_G\frac{1}{1+\frac{\mu_G}{\mu_{GB}}\frac{nL_{GB}}{L}\exp(qV_b/kT)} \qquad (5)$$

En remplaçant μ_{eff} dans l'équation qui décrit le courant de drain pour un MOSFET en silicium massif, nous obtenons pour les TFT à grands grains :

$$I_{DS}=\frac{W}{L}C_{ox}\frac{\mu_G(V_{GS}-V_T)V_{DS}}{1+\frac{\mu_G}{\mu_{GB}}\frac{L_{GB}}{L_G}\exp(qV_b/kT)}\frac{1}{1+\theta(V_{GS}-V_T)}$$

(6)

III-Résultats et discussions

Le modèle décrit par l'équation (6) à été comparé avec deux autres modèles ; le modèle standard du MOSFET monocristallin, décrit par l'équation (7) et le modèle qui considère le Si-poly comme un matériau uniforme développé par Levinson décrit par l'équation (8).

$$I_{DS}=\frac{W}{L}C_{ox}\mu_{eff}(V_{GS}-V_T)V_{DS}\frac{1}{1+\theta(V_{GS}-V_T)} \qquad (7)$$

$$I_{DS}=\frac{W}{L}C_{ox}\mu_o(V_{GS}-V_T)V_{DS}\exp(-qV_b/kT)\frac{1}{1+\theta(V_{GS}-V_T)} \qquad (8)$$

Les trois modèles sont comparés aux résultats expérimentaux ;fig.2. Il est évident que les deux modèles qui prennent en compte les barrières de potentiel des joints de grains parviennent à mieux ajuster les points expérimentaux. De plus, on remarque qu'il n'y a pratiquement pas de différence entre le modèle de Si-poly uniforme et notre modèle.

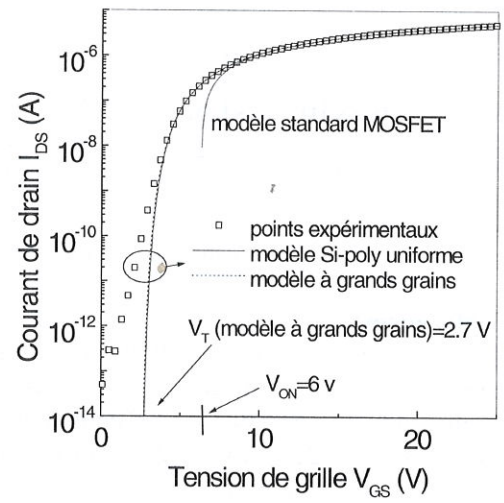

Figure 2 : comparaison du modèle à grands grains avec le modèle de Si-poly uniforme et le modèle standard du MOSFET. La caractéristique statique I_{DS}-V_{GS}.

L'extraction des paramètres pour les deux modèles montre que certaines valeurs obtenues sont assez différentes, tableau 1. Nous constatons que la tension de seuil V_T calculée par l'équation décrivant notre modèle est très différente de celle du modèle qui considère la couche mince comme uniforme.

Dans le modèle Si-poly uniforme décrit par l'équation (8), la tension de seuil ne semble pas avoir une définition physique précise. En revanche dans le modèle à une définition physique précise : il s'agit de la tension de seuil des grains, c.à.d. V_T signifie la tension de grille pour laquelle la courbure des bandes à la surface atteint la valeur théorique ($\Psi s \approx 2\Phi_f$) à l'intérieure d'un grain. Cette tension est bien moins importante que la tension de seuil extrapolée V_{ON} car la concentration de porteurs libres dans le canal dépend fortement de la densité de pièges dans les joints de grains . Par ailleurs les valeurs de N_{GB}, V_o, et θ sont relativement en bon accord.

modèles	paramètres extraits							
	N_{GB} (cm^{-2})	V_T(V)	V_o (V)	θ (1/V)	μ_o (cm^2/Vs)	$\mu_{eff,o}$ (cm^2/Vs)	μ_G (cm^2/Vs)	μ_{GB} (cm^2/Vs)
Eq. 7		6.27		0.007		104		
Eq. 8	$6.2x10^{11}$	-1.55	2.2	0.016	143			
Eq. 6	$5.6x10^{11}$	2.7	2.1	0.014			397	0.16

Tableau 1: Paramètres extraits pour les trois modèles

References:

[1] S.D.Brotherton, « Polycrystalline silicon thin film transistors », Semiconductor Science and Technology, vol. 10, p. 721,1995. [2]G.Ghibaudo, « Analytical modelling of the MOS transistor », Physica Status Solidi, (a) vol. 113, p. 223, 1989

[3] J.Levinson, et al. « Conductivity behavior in polycristalline semicondu-ctor thin film transistor », Journal of Applied Physics, vol. 53, pp. 1193-1202, 1982.

[4] H.-L.Chen and C.Y.Wu, « An analytical grain-barrier height model and its characterisation for intrinsic poly-Si thin-film transistor », IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 45, p. 2245, 1998

[5] J.G.Fossum et A.Ortiz-Conde, « Effects of grain boundaries on the channel conductance of SOI MOSFET's », IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 30, p. 993, 1983

[6] M.D.Jacunski, M.Shur and M.Hack, « Threshold voltage, field effect mobility and gate-to-channel capacitance in polysilicon TFT's », IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 43, p. 1433, 1996

[7] T.-J.King, M.G.Hack and I-W.Wu, « Effective density of states distributions for accurate modeling of polycrystalline silicon thin film transistors », Journal of Applied Physics, vol. 75, p. 908, 1994

[8] H.-S.Kong and C.Lee, « Two-dimensional simulation study of field-effect operation in undoped poly-Si thin-film transistors », Journal of Applied Physics, vol. 78, p. 6122, 1995

[9] M.Miyasaka and J.Stoemenos, « Excimer laser annealing of amorphous and solid-phase-crystallized silicon films », Journal of Applied Physics, vol. 86, no. 10, p. 5556, 1999

[10]S.M.Sze, « Physics of Semi-cond uctor Devices », editions Wiley, New York, 1981