

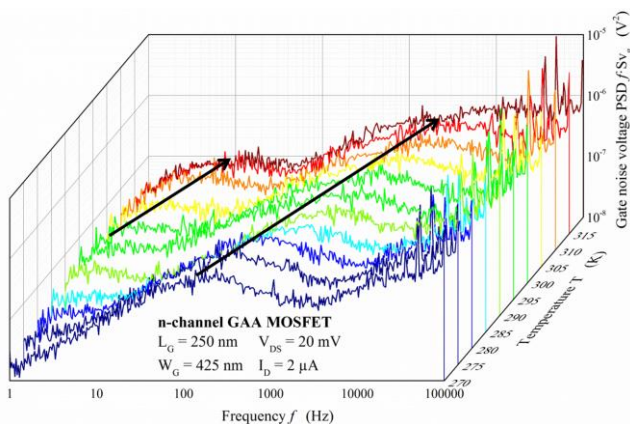
Bruit et variabilité dans des transistors sub - 7 nm

Directeur de thèse: Bogdan CRETU

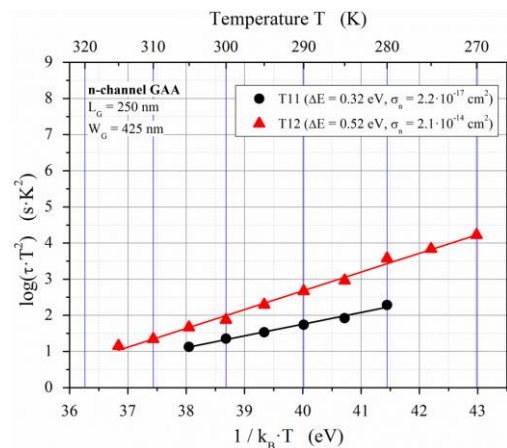
L'étude de bruit excédentaire basse fréquence constitue une technique expérimentale d'analyse non destructive permettant de prédire les performances des circuits, de comprendre les mécanismes de transport de charges dans les dispositifs et de quantifier la qualité de réalisation des composants. Cet outil est d'autant plus intéressant que le niveau de bruit basse fréquence augmente avec la diminution de la surface active des composants, à la différence d'autres techniques de caractérisation électrique.

En vue d'optimiser le fonctionnement des transistors fabriquées pour les technologies 7 nm et en deçà, une profonde compréhension du mécanisme de transport est nécessaire. En plus des caractérisations courant-tension (I-V) en courant continu, les études de bruit basse fréquence peuvent fournir une compréhension plus profonde des mécanismes de fluctuations (piégeage des porteurs, diffusion, génération - recombinaison) et peuvent révéler des nouveaux régimes associés avec les dimensions réduites qui sont liés au confinement quantique dans dispositifs étudiés (transport quantique, zéro - piège opération...). Par conséquent, une caractérisation et une modélisation approfondies du bruit basse fréquence sont essentielles pour estimer pleinement le potentiel d'application de ces transistors avancés.

Un autre paramètre important qui a un fort impact sur le transport des porteurs est la température. Les études de bruit basse fréquence en fonction de la température permettent d'identifier et aussi d'avoir une meilleure compréhension des différents régimes de transport des porteurs. En plus, ces études permettront l'utilisation de la méthodologie de spectroscopie de bruit de génération recombinaison. Le bruit de génération recombinaison (spectre de bruit lorentzien dans la représentation fréquentielle) est caractérisé par la fréquence caractéristique (qui est déterminée par la constante de temps caractéristique des pièges de même type) et l'amplitude (qui est proportionnelle à la concentration des pièges de même type). L'étude en fonction de la température permet la construction d'un diagramme d'Arrhenius à partir duquel on peut estimer la section efficace et l'énergie d'activation des pièges de même type. De cette façon, les pièges induits par le processus de fabrication et localisés dans le film de silicium ou dans le diélectrique de grille peuvent être identifiés, soulignant les étapes critiques des procédés de fabrication et les éventuelles pistes d'optimisation en vue d'éliminer ou de contrôler ces pièges. De plus, l'incertitude du nombre de pièges à l'échelle nanométrique, combinée à la miniaturisation agressive du dispositif, conduit à une importante variabilité du bruit, causant une grande imprécision dans la prévision des niveaux de bruit.



(a)



(b)

Exemple des spectres de bruit normalisés par la fréquence ; la variation en température des fréquences caractéristiques des lorentziennes mises en évidence par les flèches noires (a) permet la construction d'un diagramme d'Arrhenius et l'estimation des paramètres caractéristiques des pièges associées (énergie d'activation ΔE et surface de capture σ_n) (b).

L'intention de cette thèse est donc de réaliser une étude détaillée des transistors fabriqués à imec (Interuniversitair Micro-Electronic Center, Louvain, Belgique) pour les technologies 7 nm et en deçà dans une large gamme de température, de 10 K à 470 K. Imec (<https://www.imec-int.com/en/home>) est un pôle mondial de la R&D et de l'innovation en nanoélectronique et technologies numériques, partenaire des principaux industriels fabricants des circuits intégrés et des universités. L'originalité du sujet proposé est directement liée aux composants à l'étudier qui sont à la pointe des technologies actuelles.

Le premier objectif de ces études est technologique : l'étude du comportement en régime statique de fonctionnement et les mesures du bruit basse fréquence comme outils conjugués de diagnostic non destructifs sont utilisés pour la détection des défauts et des erreurs de procédé et ainsi permettent de proposer des éléments d'amélioration des procédés de fabrication.

Le second objectif est davantage fondamental : une miniaturisation extrême conduit inévitablement à révéler des comportements physiques originaux et inattendus. L'étude du comportement en fonction de la température pourra nous révéler des informations nouvelles menant à une meilleure compréhension des processus de transport et de fluctuations.

De façon plus détaillée, les objectifs scientifiques sont :

- mieux comprendre les mécanismes des fluctuations et proposer de nouvelles approches pour expliquer les phénomènes inattendus observés;
- identifier les étapes critiques des processus de fabrication et proposer des solutions pour la limitation du bruit (en particulier à partir de la spectroscopie du bruit).
- déterminer les limites des performances en termes de variabilité du bruit.

Le travail s'inscrit dans le cadre d'une collaboration de recherche avec imec. Des stages doctoraux à imec seront prévus.

Financement : RIN recherche Normandie ou allocation de thèse MESR.

Contact : Bogdan CRETU : bogdan.cretu@ensicaen.fr