

La Nanoélectronique et la mécanique quantique font-elles bon ménage ?

Simon Deleonibus

CEA LETI Département NANOTEC, CEA Grenoble , 38054 Grenoble Cedex 9

sdeleonibus@cea.fr

La mécanique quantique a des applications dans notre vie quotidienne pour rendre des services de façon massive ! La microélectronique et la nanoélectronique, marchés de masse, utilisent les transistors MOS à canal n et à canal p. L'existence même de ces dispositifs découle de la mécanique quantique, discipline de la physique qui a formalisé l'existence des trous ! L'association des deux types de transistors a permis de réaliser à grande échelle depuis les 40 dernières années la formidable technologie CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) que nous utilisons quotidiennement dans nos téléphones portables, nos ordinateurs ou appareils photo numériques. Avec la miniaturisation des composants, nous voyons apparaître aussi bien des effets négatifs que des effets bénéfiques relevant de la mécanique quantique. Ces effets ont impact important sur les limites de la miniaturisation !

La miniaturisation des composants requiert une diminution du volume des composants dans les 3 dimensions. Dans cette démarche, l'effet négatif qui préoccupe en premier lieu les ingénieurs et physiciens est l'effet tunnel direct de porteurs du canal à travers l'isolant de grille SiO_2 (figure 1) dès que celui ci devient plus mince que 2,5nm [1]. Aujourd'hui la consommation au repos des microprocesseurs, cœurs de nos ordinateurs, est très affectée par la consommation statique des transistors dont l'isolant de grille a des caractéristiques tunnel (épaisseur de SiO_2 de l'ordre de 1,2nm dans les microprocesseurs les plus récents) !! (Figure 1).

Les effets quantiques peuvent aussi être exploités de façon positive [2]. L'introduction d'une contrainte peut avoir des effets bénéfiques sur le transport des porteurs et potentiellement les performances des dispositifs. L'introduction d'une contrainte dans un canal en alliages réalisés à partir d'éléments de la colonne IV (Si, Ge, C, ...) du tableau périodique des éléments, modifie leur structure de bandes, ce qui a pour effet d'augmenter la valeur de la mobilité des porteurs (Figure 2) et par conséquent la performance des transistors.

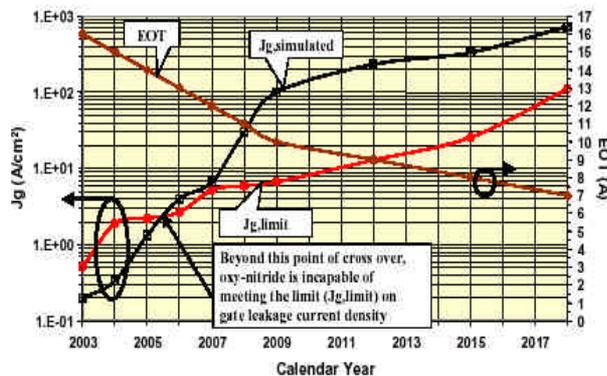


Figure 1 L'effet tunnel direct dans SiO_2 conduit la microélectronique à introduire de nouveaux matériaux pour remplacer l'isolant de grille. [1]

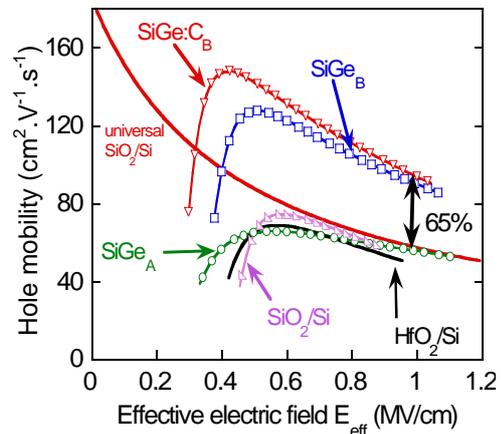


Figure 2 L'introduction d'une contrainte dans un canal de transistor augmente la mobilité des porteurs (ici contrainte compressive sur les trous) [2].

A l'aide d'autres exemples, nous examinerons les défis que la nanoélectronique doit relever d'ici 2020 pour continuer à progresser dans un contexte de diminution du nombre d'électrons utilisés ainsi que de l'énergie dépensée pour le stockage et le traitement de l'information. Le progrès dans cette voie nécessitera de faire appel, de plus en plus, à la mécanique quantique pour traiter les problèmes posés!

Références

[1] ITRS Edition 2003

[2] O.Weber et al., 2004 VLSI Tech. Symposium, Honolulu (HI), June 2004.