

Contrôle des interfaces dans les semi-conducteurs organiques

Interface control in organic semi-conductors

Patrick Marmont, Mohammad Mottaghi, Fernand Rodriguez, Nicolas Battaglini, Philippe Lang, Abderrahim Yassar et Gilles Horowitz

Longtemps cantonnés dans le rôle d'isolant ou de matériau d'enrobage, les matériaux organiques ont vu, voici une vingtaine d'années, leur champ d'application en microélectronique s'étendre à celui de matériau actif, au même titre que les semi-conducteurs minéraux comme le silicium, donnant ainsi naissance à un nouveau domaine de recherche, l'électronique organique ou « électronique plastique ». En font partie les diodes électroluminescentes organiques (OLED) que l'on trouve déjà sur le marché et qui pourraient rapidement concurrencer les écrans plats à cristaux liquides, mais aussi les transistors organiques (OTFT), inventés presque simultanément avec les OLED et dont les premières applications sont annoncées pour bientôt. Notre équipe a été parmi les premières à réaliser, dès 1989, un transistor organique dont l'élément actif, ou semi-conducteur, était constitué d'un oligomère conjugué, le sexithiophène [1]. En pratique, un dispositif électronique organique est constitué de la superposition de couches minces de matériaux de différentes fonctionnalités : conducteurs, semi-conducteurs, isolants. La *figure 1* illustre ce concept dans le cas du transistor organique.

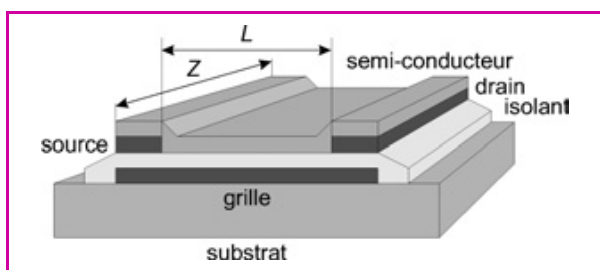


Figure 1 - Schéma de principe du transistor organique.

Le fonctionnement du transistor peut se résumer ainsi : lorsqu'on applique une tension entre la source et la grille, on induit par effet capacitif un canal conducteur à l'interface entre le semi-conducteur et l'isolant ; il devient alors possible de moduler la conductivité entre la source et le drain. Un transistor agit donc comme une résistance variable. Pour améliorer les performances, on peut intervenir à plusieurs niveaux, en particulier à l'interface entre l'isolant et le semi-conducteur, mais aussi à l'interface entre les électrodes et le semi-conducteur, là où s'opère l'injection des charges électriques.

Une façon élégante de contrôler les propriétés interfaciales est la technique des couches auto-assemblées (SAM, « self-assembled monolayers »), qui consiste à greffer sur la surface une couche monomoléculaire d'un composé actif judicieusement choisi. Nous allons illustrer ce concept par deux exemples.

Transistor organique en couche monomoléculaire

C'est la règle avec tous les transistors : plus c'est petit, mieux c'est. Or, peut-on faire plus mince qu'une couche

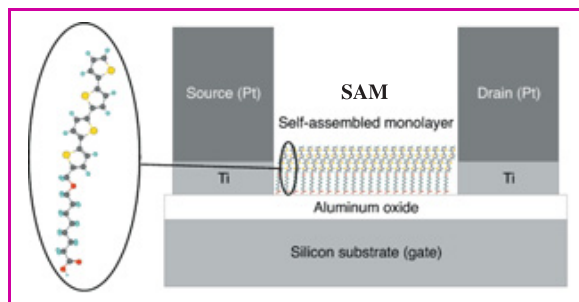


Figure 2 - Schéma du transistor organique en couche mince monomoléculaire.

monomoléculaire ? Une vue générale du transistor en couche monomoléculaire [2] est donnée *figure 2*.

La SAM est constituée d'une molécule bifonctionnelle comprenant un acide carboxylique capable de s'adsorber sur l'isolant de grille en alumine (Al_2O_3) lié à une entité conjuguée (quaterthiophène) qui joue le rôle du semi-conducteur. Pour réduire les autres dimensions du dispositif, en particulier la longueur du canal, nous avons fait appel à la lithographie électronique, qui nous a permis de réduire la distance source-drain à quelques dizaines de nanomètres. La grosse difficulté de ce transistor est d'obtenir une injection efficace entre les électrodes et le canal conducteur, ce qui ne s'est produit que dans un très petit nombre de cas. Nous avons néanmoins pu déterminer la mobilité des porteurs, laquelle est légèrement inférieure à celle d'un film plus épais, ce que nous attribuons à une structure cristalline différente dans la monocouche. Le point remarquable reste néanmoins que ce dispositif peut fonctionner à des tensions très faibles, de l'ordre du volt.

Amélioration de l'injection des porteurs de charge

Comme nous l'avons dit plus haut, la principale limitation à la réduction de taille d'un transistor organique réside dans l'injection des porteurs de charge au niveau des électrodes source et drain. Encore une fois, une issue à ce problème est l'utilisation de SAM. La *figure 3* donne le schéma énergétique de l'interface métal/semi-conducteur.

Pour réduire la barrière, et donc améliorer l'injection des trous, on peut interposer entre le métal et le semi-conducteur une couche présentant une polarisation orientée du semi-conducteur vers le métal. Pour cela, nous avons choisi des SAM à base de thiol, qui se greffent bien sur l'or. Les calculs de chimie quantique montrent que les alcane-thiols ont un moment dipolaire orienté vers l'atome de soufre (donc vers le métal dans la SAM), tandis que le moment se renverse dans les alcanes perfluorés [3]. Pour montrer le bien-fondé du concept illustré par la *figure 3*, nous avons donc comparé les performances de transistors identiques dans lesquels une SAM de décane-thiol (DT) ou de perfluorodécane-thiol (PFDT) est interposée entre les électrodes

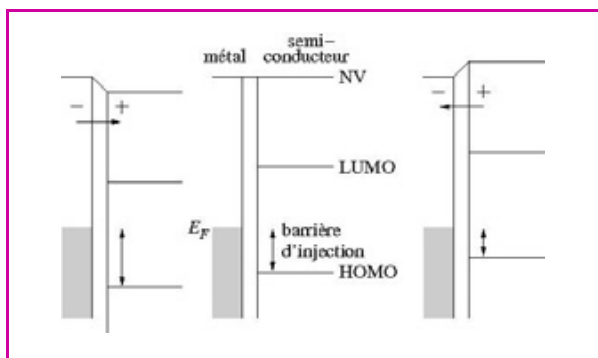


Figure 3 - Schéma énergétique de l'interface métal/semi-conducteur organique.

Au centre : pas de dipôle à l'interface. À gauche : avec un dipôle orienté du métal vers le semi-conducteur, il y a augmentation de la barrière d'injection des trous. À droite : si le dipôle est orienté du semi-conducteur vers le métal, la barrière d'injection des trous est réduite.

et le semi-conducteur organique. Cette comparaison s'appuie sur trois types de mesures :

- La spectroscopie de photoélectrons UV (UPS) nous a donné accès au niveau de Fermi du métal (E_F) avec et sans SAM. Nous avons pu ainsi vérifier que le DT tend à diminuer le travail de sortie, tandis que le PFDT l'augmente.
- Les mesures électriques sur les transistors montrent que le courant augmente lorsque les électrodes sont modifiées avec le PFDT, alors qu'il diminue avec le DT.
- Nous avons enfin voulu vérifier que la variation du courant est bien due à un changement de la résistance des contacts et avons

pour cela utilisé la méthode de la ligne de transfert (TLM), qui consiste à mesurer les performances de transistors de longueur de canal variable. Là encore, le DT augmente la résistance de contact et le PFDT la diminue.

Le PFDT est cependant loin d'être la solution idéale. En effet, il se compose d'une chaîne alkyle relativement longue (dix carbones), ce qui lui confère une résistance série non négligeable. Nous comptons donc continuer ce travail avec des SAM constituées de molécules conjuguées (comme les biphényles), plus conductrices, la difficulté étant alors de faire des couches bien orientées avec des molécules rigides.

Références

- [1] Horowitz G., Fichou D., Peng X.Z., Xu Z.G., Garnier F., A field-effect transistor based on conjugated α -sexithienyl, *Solid State Commun.*, **1989**, 72, p. 381.
- [2] Mottaghi M., Lang P., Rodriguez F., Rumyantseva A., Yassar A., Horowitz G., Lenfant S., Tondelier D., Vuillaume D., *Adv. Funct. Mater.*, **2007**, 17, p. 597.
- [3] Campbell I.H., Rubin S., Zawodzinski T.A., Kress J.D., Martin R.L., Smith D.L., Barashkov N.N., Ferraris J.P., *Phys. Rev. B*, **1996**, 54, p. 14321.



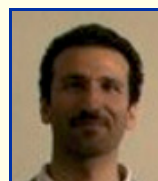
G. Horowitz



A. Yassar



N. Battaglini



M. Mottaghi



F. Rodriguez

Gilles Horowitz est professeur, **Abderrahim Yassar** est directeur de recherche, **Nicolas Battaglini** est maître de conférences, **Philippe Lang** est chargé de recherche et **Patrick Marmont**, **Mohammad Mottaghi**, **Fernand Rodriguez** sont doctorants à l'ITODYS (Université Paris 7)*.

* ITODYS, Université Paris 7, 1 rue Guy de la Brosse, 75005 Paris. Courriels : horowitz@univ-paris-diderot.fr, yassar@univ-paris-diderot.fr, nicolas.battaglini@univ-paris-diderot.fr, lang@univ-paris-diderot.fr, cerafract@yahoo.fr



Depuis 1988

Les Editions D'Ile de France

Expérience, la différence

102, avenue Georges Clemenceau
94700 Maisons-Alfort
Tél. : 01 43 53 64 00 • Fax : 01 43 53 48 00
e-mail : edition@edif.fr

Régisseur exclusif
de la revue *Actualité Chimique*

Votre contact : André BERDAH

Web : www.edif.fr