



Dübendorf, St-Gall, Thoune, Mainz, 22 juillet 2010

Un matériau pour la nano-électronique de demain

D'étroits nanorubans pour des transistors au graphène

Dans le numéro du 22 juillet 2010 de «Nature» des chercheurs de l'Empa et du Max-Planck-Institut für Polymerforschung rapportent comment ils sont parvenus pour la première fois à faire croître à l'aide d'une méthode chimique simple des rubans de graphène de quelques nanomètres de large seulement sur des surfaces préparées à cet effet. Les rubans de graphène sont considérés comme des candidats très prometteurs pour des applications électroniques car il est possible de faire varier leurs propriétés selon leur largeur et la forme de leurs bords.

Les transistors au graphène sont considérés comme les successeurs possibles des transistors au silicium actuellement courants. Formés de couches bidimensionnelles de carbone, le graphène possède de nombreuses propriétés assez extraordinaires: il n'est pas seulement plus dur que le diamant, extrêmement résistant à la traction et imperméable aux gaz mais encore aussi un excellent conducteur électrique et thermique. Toutefois comme le graphène est un semi-métal, il ne possède pas, au contraire du silicium, de bande interdite et donc pas non plus de fonction de commutation qui est LA condition essentielle pour des applications électroniques. Des chercheurs de l'Empa et du Max-Planck-Institut für Polymerforschung de Mainz ainsi que de l'EPFZ et des universités de Zurich et de Berne ont maintenant développé un nouveau procédé pour produire des rubans de graphène possédant une bande interdite.

Des rubans de graphène extrêmement étroits

Jusqu'ici pour obtenir des rubans de graphène, on «découpait» des couches de graphène un peu à la manière dont on découpe les nouilles dans une pâte étalée. Ou encore on déroulait des nanotubes de carbone après les avoir coupés sur leur longueur. Il se forme ainsi, par un effet quantique, une bande interdite – un domaine d'énergie dans lequel aucun électron ne peut se trouver et qui détermine des propriétés physiques telles que par exemple la commutabilité. La largeur et la forme des bords du ruban déterminent la taille de la bande interdite et influencent ainsi les caractéristiques des composants construits à partir de celui-ci.

Ces chercheurs ont eu l'idée que si l'on parvenait à produire des rubans de graphène extrêmement étroits – nettement au-dessous de dix nanomètres – et cela encore avec des bords bien définis, il devait être possible de produire à partir d'eux des composants possédant des caractéristiques optiques et électroniques variables à souhait. Cela parce que, selon les besoins, il serait possible de faire varier la largeur de la bande interdite des rubans et ainsi aussi les caractéristiques de commutation des transistors ainsi obtenus. Une affaire toutefois fort complexe, car les méthodes lithographiques utilisées jusqu'ici par exemple pour couper

les plaques de graphène, se heurtaient à leurs limites fondamentales; elles ne livraient que des rubans trop larges et possédant de plus des bords diffus.

Faire croître des rubans de graphène

Dans le numéro de «Nature» du 22 juillet 2010, les chercheurs réunis autour de Roman Fasel, senior scientist à l'Empa et professeur de chimie et de biochimie à l'Université de Berne, et de Klaus Müllen, directeur du Max-Planck-Institut für Polymerforschung, décrivent une méthode simple utilisant la chimie des surfaces pour produire des rubans de graphène d'une telle étroitesse sans recourir à aucun découpage – par voie bottom-up, à partir de molécules isolées. Pour cela ils déposent sous ultravide sur des surfaces d'or ou d'argent des monomères spéciaux substitués à des positions «stratégiquement» importantes par des halogènes qui se polymérisent dans une première étape pour former des chaînes de polyphénylène.

Dans une deuxième étape, une réaction déclenchée par un chauffage plus élevé provoque l'élimination d'atomes d'hydrogène et le couplage des chaînes de polymère en un système aromatique de type graphène. Les rubans de graphène ainsi obtenus présentent une épaisseur d'un atome, une largeur d'un nanomètre et une longueur atteignant jusqu'à 50 nanomètres. Ces rubans de graphène sont d'une étroitesse telle qu'ils présentent une bande interdite et possèdent ainsi, tout comme le silicium, des propriétés de commutabilité – un premier pas important vers le passage de la micro-électronique au silicium à la nano-électronique au graphène. Mais mieux encore: suivant les monomères utilisés, il se forme des rubans de graphène qui possèdent des structures différentes et qui sont soit rectilignes soit en zigzag.

D'autres perspectives intéressantes

Comme ces chercheurs parviennent désormais à produire des bandes de graphène (presque) à volonté, ils se proposent dans une prochaine étape d'étudier comment les différentes formes des bords des rubans influencent leurs propriétés magnétiques. Leur méthode de la chimie des surfaces ouvre encore des perspectives intéressantes pour le dopage ciblé des bandes de graphène: l'utilisation de monomères possédant des atomes d'azote ou de bore en des positions exactement définies ou de monomères possédant des groupes fonctionnels supplémentaires devrait permettre de produire des rubans de graphène dopés positivement ou négativement. La combinaison de différents monomères est elle aussi possible et pourrait permettre de créer par exemple des hétérojonctions – autrement dit des jonctions entre des rubans de graphène possédant des bandes interdites différentes – et qui pourraient s'utiliser dans les piles solaires ou les composant électroniques haute fréquence. La méthode développée s'y prête comme l'ont déjà prouvé ces chercheurs: avec deux monomères adéquats, ils sont parvenus à créer un nœud de jonction reliant entre eux trois rubans de graphène.

Jusqu'ici les travaux ont porté essentiellement sur les rubans de graphène synthétisés sur des surfaces métalliques. Toutefois pour pouvoir utiliser ces rubans de graphène en électronique il faut les synthétiser sur des surfaces semi-conductrices ou développer des méthodes pour les transférer des surfaces métalliques sur des surfaces semi-conductrices. Et les premiers résultats déjà obtenus dans cette direction rendent ces chercheurs optimistes.

Bibliographie

«Atomically precise bottom-up fabrication of graphene nanoribbons», J. Cai, P. Ruffieux, R. Jaafar, M. Bieri, T. Braun, S. Blankenburg, M. Muoth, A.P. Seitsonen, M. Saleh, X. Feng, K. Müllen, R. Fasel, Nature, 22 July 2010, Vol. 466, No. 7305, pp 470-473, doi:10.1038/nature09211

Information

- Prof. Dr. Roman Fasel, Empa, nanotech@surfaces, Tel. +41 44 823 43 48, roman.fasel@empa.ch
- Prof. Dr. Klaus Müllen, Max Planck Institut für Polymerforschung Mainz, Synthetische Chemie, Tel. +49 6131 379 151, muellen@mpip-mainz.mpg.de

Rédaction / Contact médias

- Dr. Michael Hagmann, Empa, Communication, tél. +41 44 823 45 92, redaktion@empa.ch
- Stephan Imhof, Max-Planck-Institut für Polymerforschung Mainz; Medienreferent, tél. +49 6131 379 132; imhof@mpip-mainz.mpg.de

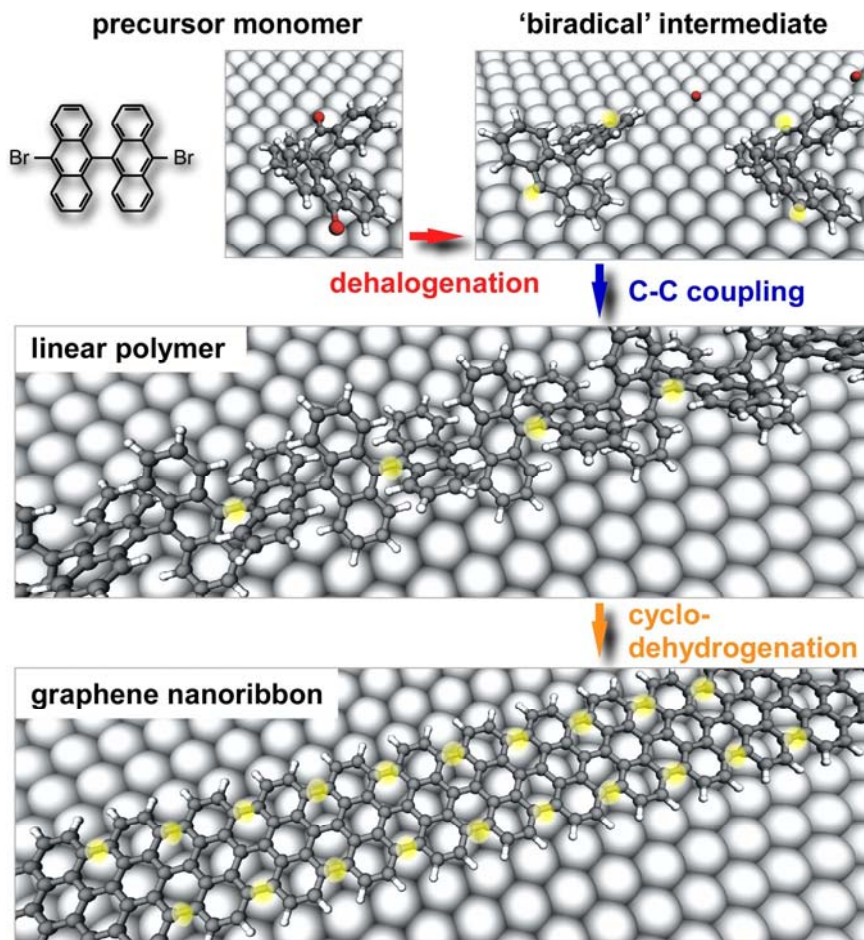


Figure 1: Représentation schématique des réactions chimiques de surface qui permettent de produire des nanorubans de graphène avec une précision atomique.

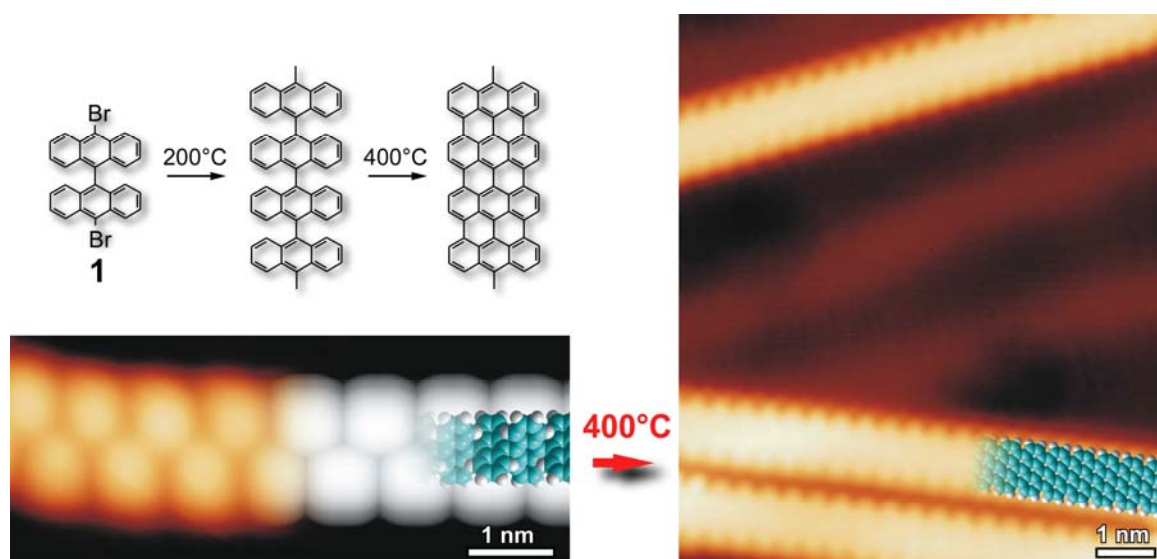


Figure 2: Etapes des réactions de la production d'un nanoruban de graphène à partir de monomères de bianthryl, et micrographies à effet tunnel des produits de réaction.

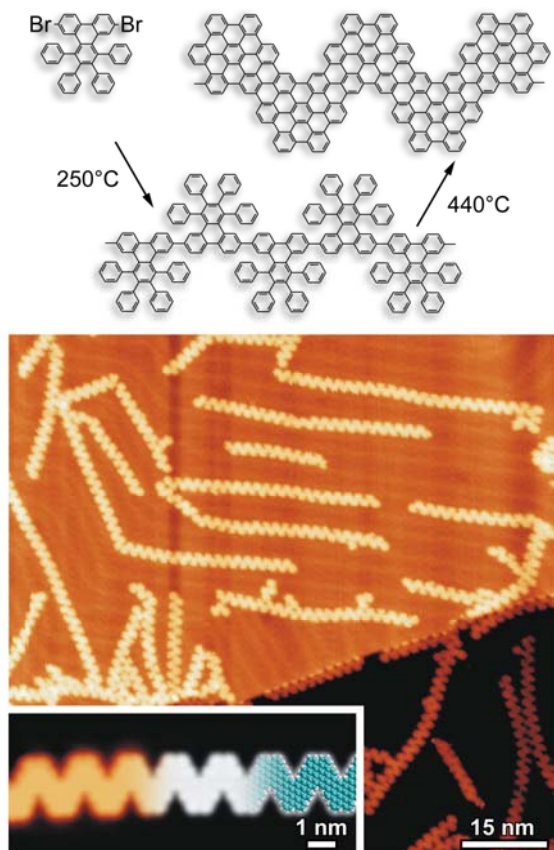


Figure 3: Les différentes étapes des réactions chimiques de surface de la synthèse de nanorubans de graphène en forme de zigzag, et micrographie à effet tunnel de nanorubans ainsi produits.

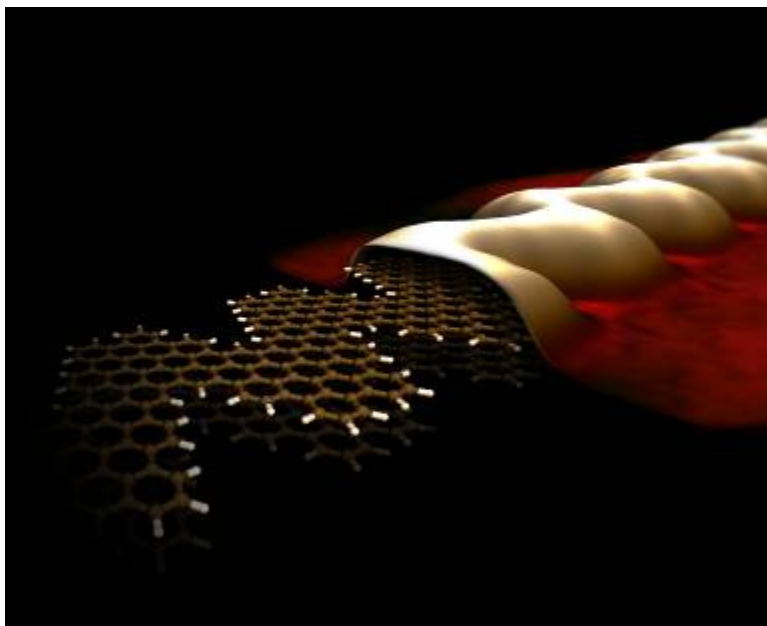


Figure 4: Modèle moléculaire et représentation tridimensionnelle d'une micrographie à effet tunnel d'un nanoruban de graphène en forme de zigzag.

Les illustrations et le texte en format digital peuvent être obtenus après de: redaktion@empa.ch