

quantiques étranges, qui tiennent essentiellement au fait que, dans ce carbone bidimensionnel, les porteurs de charge qui conduisent le courant se déplacent à une vitesse importante, ce qui permet d'envisager de nouvelles applications.

Or du carbone au silicium, il n'y a qu'une case dans le tableau périodique des éléments : juste au-dessous du carbone, on trouve le silicium. Cet élément est très utilisé dans l'industrie électronique en raison de ses propriétés de semi-conducteur. Il a été tellement étudié et utilisé que personne n'imaginait en découvrir un nouvel allotrope. Pourtant, en 2009, une forme cristalline inédite a été découverte : le silicène. Les atomes sont agencés en un réseau

lectronique. En effet, toute l'industrie de l'électronique repose principalement sur le silicium. Par conséquent, le silicène s'y intégrerait naturellement. L'émergence d'une électronique fondée sur le graphène imposerait de changer tous les processus de fabrication de circuits électroniques à semi-conducteurs. L'investissement serait colossal et le succès pas assuré. Cela justifie qu'une attention toute particulière soit portée au silicène aussi bien par les chercheurs que par les industriels.

Nous n'en sommes pas encore au stade de l'industrialisation. Le silicène a été synthétisé il y a seulement cinq ans et nous commençons à en préciser les caractéristiques. En effet, sa synthèse est plus

hexagonal en nid d'abeilles, formant une monocouche atomique de silicium, à l'image du graphène. Ce nouveau matériau bidimensionnel, prévu théoriquement en 1994 par Kyozauro Takeda, de l'Université Waseda à Tokyo, et Kenji Shiraishi, de l'Université de Nagoya, ne semble pas exister à l'état naturel. Il a été synthétisé pour la première fois en 2009 par Patrick Vogt, de l'Université technique de Berlin, alors qu'il travaillait pour quelques mois dans mon équipe à Marseille.

Aujourd'hui, de nombreuses équipes font des recherches, essentiellement théoriques, sur le silicène. Pourquoi un tel engouement ? Ce matériau a une structure proche de celle des films bidimensionnels de carbone, et les physiciens espèrent qu'il combine les propriétés spécifiques du silicium et celles que présente son cousin le graphène.

Illustrant les enjeux liés à ces allotropes du carbone et du silicium, la Commission européenne a identifié l'étude du graphène – avec celle du cerveau humain – comme un des principaux projets de recherche pour les dix années à venir. Les recherches liées au graphène seront financées à hauteur d'un milliard d'euros sur dix ans. Mais loin de se cantonner au seul graphène, le projet s'étend aux matériaux analogues, « au-delà du graphène », et le silicène occuperait une place de choix.

Le silicène, peut-être même plus que le graphène, pourrait avoir des applications en physique des semi-conducteurs et serait plus facile à utiliser en microé-

difficile que celle du graphène et même s'assurer que nous avons bien obtenu une couche monoatomique de silicium ayant les bonnes caractéristiques a nécessité des analyses poussées. Les progrès au sujet du silicène sont rapides et nous examinerons les résultats déjà obtenus.

Comme nous l'avons évoqué, on peut préparer des films de graphène par exfoliation, mais cette technique ne s'applique pas au silicène : le silicium ne présente pas, à l'état naturel, de structure cristallographique en feuillets équivalant à celle du carbone dans le graphite. Nous avons utilisé une autre technique, l'épitaxie, couramment utilisée pour fabriquer, entre autres, des plaquettes de silicium de grande qualité. Du silicium brut est chauffé à haute température dans une enceinte sous vide. Les atomes arrachés s'adsorbent à la surface du substrat. Les premiers atomes adsorbés forment des sites de nucléation sur lesquels se fixent d'autres atomes. Les forces électrostatiques entre les atomes de silicium et atomes du substrat influent sur la position des atomes qui se déposent, et l'on obtient un réseau cristallin régulier.

Pour le silicène, le choix du substrat est déterminant, notamment la structure cristalline de sa surface. Nous avons utilisé un monocristal d'argent qui présente, en surface, une structure hexagonale. De surcroît, d'après les calculs théoriques, quatre mailles du réseau cristallin de l'argent correspondent quasiment à trois mailles de silicène. Cela signifie que les contraintes

L'ESSENTIEL

- Le silicène est constitué d'une monocouche d'atomes de silicium. Sa structure est proche de celle du graphène.
- Le silicène a été synthétisé pour la première fois en 2009.
- Ses propriétés pourraient combiner celles du graphène et celles du silicium, élément essentiel des dispositifs électroniques.
- Les chercheurs commencent à mesurer ses caractéristiques : sa structure cristalline et ses propriétés électroniques.