



6. PLUSIEURS TYPES DE NANOPARTICULES sont synthétisés à partir des mini-émulsions, par exemple des nanoparticules Janus ou divers types de nanocapsules.

Les cristallographes qualifient de réseau hexagonal une telle disposition.

Notre procédé repose sur l'idée de déposer sur un substrat solide des monocouches de colloïde, faites d'une seule couche de sphères. Pour cela, nous recouvrons d'eau un objet et nous versons une dispersion colloïdale. Si l'on procède avec soin, les particules s'ordonnent les unes à côté des autres à la surface de l'eau. De cette façon, on parvient à recouvrir cette dernière d'une couche de particules colloïdales ordonnées selon un réseau hexagonal.

Si ensuite on évacue le liquide, la monocouche arrive au contact du substrat, dont peu importe la nature ; il peut s'agir de céramique, de plastique, de métal ou de tout autre solide non soluble dans l'eau. Il n'est pas nécessaire non plus que la surface soit parfaitement lisse. On peut ainsi déposer une monocouche de particules colloïdales sur du silicium, sur des substrats plastiques souples, sur des surfaces préstructurées, etc. On peut aussi ajouter plusieurs monocouches de sphères de tailles différentes (voir l'encadré page 58).

Une nouvelle forme de lithographie

Des agencements réguliers de particules colloïdales peuvent aussi servir de masque pour graver sur le substrat des motifs faits de cônes de tailles nanométriques. Par exemple, on parvient ainsi à rendre non réfléchissantes des surfaces de verre : grâce aux nanocônes, l'indice optique varie progressivement dans la direction perpendiculaire à la surface. La transition entre le verre et l'air est alors douce, ce qui évite les discontinuités d'indice optique à l'origine des reflets. On peut également fabriquer de cette façon des surfaces autonettoyantes exploitant l'effet lotus.

Nos méthodes de fabrication de nanocapsules peuvent aussi être mises à profit

pour enfermer à l'intérieur de particules de polymère des substances moléculaires riches en métaux, ce que l'on nomme des complexes métalliques. Nous avons appliqué cette idée à nos monocouches, ce qui autorise une nouvelle forme de lithographie. Ces arrangements colloïdaux ne sont qu'une étape vers des motifs constitués uniquement de particules métalliques.

Une fois que ces monocouches de particules métalliques ont été déposées sur un objet, on chauffe leur surface à l'aide d'une torche à plasma, ce qui libère le métal et soude une minuscule particule métallique là où les nanocapsules se trouvaient en contact avec le substrat.

La taille de ces minuscules particules métalliques est ajustée à volonté par la quantité de complexe métallique que contient chaque nanocapsule. Puisque cette dernière peut être aussi petite que l'on veut, on parvient à produire des particules métalliques extrêmement petites, de diamètre inférieur à dix nanomètres.

Des nanoparticules métalliques de diamètre bien précis

La distance entre particules est déterminée par le diamètre des nanocapsules initiales. Elle peut de même être ajustée de façon très précise. Notre procédé allie ainsi les avantages de la lithographie colloïdale – rapidité, utilisation possible sur de grandes surfaces, peu de matériel nécessaire – avec une précision de quelques nanomètres, obtenue d'ordinaire uniquement au moyen de grands et coûteux équipements. Le dépôt ordonné de nanoparticules métalliques permet notamment de réaliser des mémoires informatiques, à base de nanoparticules magnétiques.

Puisqu'on peut encapsuler plusieurs complexes métalliques suivant une proportion fixée, il est aussi possible de réaliser des alliages à proportions fixées. C'est ainsi que notre équipe est parvenue récemment à déposer sur un substrat des nanoparticules faites d'un alliage fer-platine.

Tout cela ne représente que quelques-unes des nombreuses applications possibles des mini-émulsions ou, d'une manière générale, des colloïdes. Un siècle après leur première description, ces systèmes restent très prometteurs. ■

■ BIBLIOGRAPHIE

N. Vogel *et al.*, **From soft to hard : The generation of functional and complex colloidal monolayers for lithography**, *Soft Matter*, vol. 8, pp. 4044-4061, 2012.

D. Klinger et K. Landfester, **Stimuli-responsive microgels for the loading and release of functional compounds – Fundamental concepts and applications**, *Polymer*, vol. 53, pp. 5209-5231, 2012.

K. Landfester, **Miniemulsionspolymerisation und Struktur von Polymer- und Hybridnanopartikel**, *Ang. Chemie*, vol. 121, pp. 4556-4576, 2009.

H. J. Butt *et al.*, **Physics and Chemistry of Interfaces**, Wiley-VCH, 2006.

S. Nayak et L. A. Lyon, **Weiche Nanotechnologie mit weichen Nanopartikel**, *Ang. Chemie*, vol. 117, pp. 7862-7886, 2005.