

par PPG Aerospace, les premiers hublots électrochromes passent d'un état clair à un état extrêmement sombre, ou à un état intermédiaire, simplement en effleurant un bouton. Ces hublots intelligents ont fait leur apparition en 2011 sur des avions de ligne (Boeing 787, ou Dreamliner) ainsi que sur des avions d'affaires (Hawker Beechcraft King Air 350i).

De nombreuses études portent sur le développement de fenêtres électrochromes. L'objectif des industriels est de proposer à une vaste clientèle des fenêtres intelligentes permettant de régler la luminosité (et la température) dans les bâtiments pour un coût modéré. Ces dispositifs autoriseraient des économies d'énergie notables en limitant le recours aux systèmes d'air conditionné, tout en améliorant le confort des bureaux.

L'une des difficultés est d'obtenir une bonne transparence des fenêtres dans leur état non coloré. Ainsi, Kuan-Jiuh Lin et ses collègues, de l'Université Chung Hsing à Taïwan, ont développé un moyen de faire croître des nanofils d'oxyde de titane sur du verre de façon à obtenir un indice de réfraction plus faible, ce qui limite les réflexions.

Comme nous l'avons évoqué, les premiers systèmes électrochromes visaient surtout les dispositifs d'affichage, mais ces travaux ont perdu de leur intérêt avec l'arrivée sur le marché (et la rapide domination) des écrans à cristaux liquides. Il est peu probable que les systèmes électrochromes aient un avenir dans la fabrication des téléviseurs à grand écran, mais ils pourraient être intéressants pour réaliser des écrans en couleurs à faible coût, dans



4. DE NOMBREUSES AUTOMOBILES sont équipées des rétroviseurs anti-éblouissement NVS (Night Vision Safety) de Gentex. Quand ils sont activés (en bas), les colorants électrochromes produisent une couleur bleu-vert. L'éblouissement est réduit via l'élimination d'une partie de l'intensité lumineuse et l'absorption de certaines longueurs d'onde.

des applications telles que le papier électronique, les panneaux signalétiques et les étiquettes de prix réutilisables.

En mettant à contribution toute sa gamme de couleurs des polymères électrochromes solubles, l'équipe de J. Reynolds a montré comment créer rapidement des prototypes de dispositifs électrochromes en utilisant des aéroglyphes et des imprimantes à jet d'encre. En pulvérisant les solutions à travers des caches, les chercheurs ont déposé un motif sur un substrat, les couches superposées offrant toute une palette de coloris. En 2012, ils ont utilisé des techniques d'impression sur rouleau pour recouvrir des substrats flexibles, en PET, avec des composés électrochromes, et ils ont aussi incorporé un dispositif photovoltaïque imprimé pour conférer au système une autonomie en énergie.

Changer de couleur rapidement

Une limitation récurrente des dispositifs électrochromes est leur temps de commutation relativement long, de l'ordre du dixième de seconde et plus. Il est contraint par le taux de diffusion des ions durant le processus d'oxydoréduction. Si l'on diminuait l'épaisseur des couches électrochromes, la distance de diffusion des ions serait réduite, mais alors les couches plus minces n'offriraient plus un contraste satisfaisant, nécessaire à une bonne coloration.

Sang Bok Lee et ses collègues, de l'Université du Maryland, ont proposé d'utiliser des nanotubes comme moyen d'augmenter les vitesses de commutation. Ils ont choisi de faire croître des tubes creux de polymères électrochromes dont les parois ont une épaisseur de 10 à 20 nanomètres seulement, mais dont la longueur est de plusieurs centaines de nanomètres. Les ions diffusent uniquement à travers l'épaisseur de la paroi pour produire les réactions d'oxydoréduction. Les temps de commutation résultants sont de l'ordre de 10 millisecondes. La longueur des nanotubes assure un bon contraste des couleurs et l'équipe de S. B. Lee a mis au point en 2012 des méthodes pour faire croître des nanotubes hybrides de plusieurs polymères afin d'améliorer encore les couleurs. Ils ont pu faire la démonstration de couches de nanotubes fonctionnant à la fois par réflexion et par transmission, ce



5. LES TISSUS peuvent servir de support pour des matériaux électrochromes. Une équipe de l'École nationale supérieure des arts et industries textiles, à Roubaix, développe des supports souples composés de textiles (a). Un textile sert de réservoir pour le composé électrochrome qui prend une teinte bleue lorsqu'il est réduit (b) et qui devient transparent lorsqu'il est oxydé (c). Ce matériau est placé entre deux électrodes textiles conductrices. La transition entre les deux états est rapide (inférieure à deux secondes) et la durée de vie dépasse aujourd'hui trois semaines (un progrès d'un facteur 10 par rapport à des dispositifs précédents).

qui les rendrait potentiellement utilisables pour les écrans comme pour les fenêtres.

Les tissus à couleur modifiable sont une autre application de l'électrochromisme. Ces tissus caméléons serviraient à des tenues de camouflage qui s'adaptent à l'environnement, à des écrans portables sur soi, ou tout simplement à des vêtements de mode. Fern Kelly et ses collègues, de l'École nationale supérieure des arts et industries textiles, à Roubaix, étudient de tels tissus (voir la figure 5). Puisque les polymères électrochromes peuvent être mis en solution, on peut les déposer au pochoir sur des substrats flexibles de tissu, et leurs faibles besoins en énergie signifient que des électrodes flexibles pourraient servir à commuter les couleurs.

Des tissus caméléons

Gregory Sotzing et son équipe, à l'Université du Connecticut, travaillent sur un élasthane électrochrome dont l'intensité des couleurs est modulée par l'étirement du tissu. L'élasthane lui-même fait office

d'électrode quand il est trempé dans une solution de polymère conducteur ; dans le dispositif, deux couches d'élasthane prennent en sandwich une couche de gel électrolyte. Un revêtement de polymères électrochromes sur les deux faces du tissu crée un tissu réversible, qui peut présenter une couleur différente de chaque côté. L'équipe de G. Sotzing travaille également sur des fils et des fibres électrochromes qui seraient tissés directement dans le textile.

Malgré la longue histoire des recherches sur les matériaux électrochromes, il semble que l'intérêt pour ces dispositifs ait fortement augmenté au cours des dernières années. L'élargissement de la palette de couleurs, l'augmentation de la vitesse de commutation et la plus grande facilité de fabrication sont autant d'avantages qui s'ajoutent à la disponibilité de ces matériaux, leur faible consommation électrique et leur coût modeste. Les matériaux électrochromes semblent promis à un avenir non seulement brillant, mais aussi très coloré. ■

BIBLIOGRAPHIE

F. M. Kelly *et al.*, **Polyaniline : application as solid state electrochromic in a flexible textile display**, *Displays*, vol. 34[1], pp. 1-7, 2013.

R. J. Mortimer, **Electrochromic materials**, *Annual Review of Materials Research*, vol. 41, pp. 241-268, 2011.

C. G. Granqvist, **Oxide electrochromics : An introduction to devices and materials**, *Solar Energy Materials & Solar Cells*, vol. 99, pp. 1-13, 2011.

P. M. S. Monk *et al.*, **Electrochromism and electrochromic devices**, Cambridge University Press, 2007.

R. J. Mortimer *et al.*, **Electrochromic organic and polymeric materials for display applications**, *Displays*, vol. 27[1], pp. 2-18, 2006.



france culture

LA MARCHE DES SCIENCES

Découvertes, inventions, aventures savantes au fil de l'Histoire

Aurélie Luneau
14h-15h / chaque jeudi

franceculture.fr

SCIENCE

© 2014 France Culture. Tous droits réservés. Photo: M. D. / Getty Images