

MARIE-CLAUDE CLOCHARD*spécialiste des polymères irradiés au LSI***TRAVIS WADE***docteur en électrochimie***JEAN-ÉRIC WEGROVE***professeur à l'École polytechnique*

QUELQUES APPLICATIONS INDUSTRIELLES DE LA CHIMIE DES RADIATIONS

Les irradiations sur des solides tels que les polymères conduisent à de nombreuses applications dans divers domaines des nanotechnologies, tels que l'énergie, la nanoélectronique et l'environnement.

LES DÉFAUTS créés sous irradiation dans les polymères initient de nouvelles polymérisations. Ce « greffage », dit radio-induit ou « radiogreffage », de matière polymère sur une matière polymère existante permet de cumuler les propriétés de différents matériaux.

LE RADIOGREFFAGE

La recherche dans ce domaine depuis les dix dernières années a ciblé essentiellement des nano-objets (fibres, nanoparticules) et des objets nanostructurés par faisceau d'ions lourds accélérés (films, membranes) afin de fabriquer des éléments de petite taille, augmenter des

effets connus macroscopiquement par l'accroissement des surfaces d'échange et approfondir les connaissances.

IRRADIATION POUR L'AUTOMOBILE

Les radiations ionisantes les plus utilisées sont les électrons, les rayons γ ou X. L'énergie est déposée de façon aléatoire dans le substrat polymère et les domaines greffés sont donc distribués de façon homogène.

Les particules ionisantes telles que les ions produits par irradiation aux ions lourds rapides induisent le long de leur trajectoire dans

le solide un tracé continu d'excitations et d'ionisations menant à la formation d'une « trace » dite latente.

L'énergie déposée est ultralocalisée le long du passage de l'ion et un « radiogreffage » hétérogène en présence de monomère vinylique a lieu.

Le « radiogreffage » ionique est influencé par plusieurs paramètres : les conditions d'irradiation (flux, température, atmosphère), les conditions de polymérisation et la nature du substrat polymère utilisé. Une application brevetée de ce « radiogreffage » dans les « traces latentes » a consisté à créer des membranes polymères

« Cumuler les propriétés de différents matériaux »

REPÈRES

La chimie des radiations est née de la recherche de Marie Curie. Elle continue de nos jours avec de nouvelles sources de rayonnements ionisants de plus en plus intenses (Cyclotron, Synchrotron, Lasers).

Au Laboratoire des solides irradiés (LSI), unité mixte de recherche « CEA-École polytechnique-CNRS », les polymères solides irradiés ont été étudiés pour connaître leur dégradation lors de leur utilisation dans le gainage de fils électriques dans les centrales nucléaires et dans l'emballage des déchets nucléaires.

Une nouvelle branche s'attache au cumul des propriétés de différents matériaux afin de répondre à des demandes dans les domaines de l'énergie, de l'environnement, de la santé et plus largement, des nanotechnologies en général.

électrolytes pour les piles à combustible (application automobile).

De plus, ces membranes ont aussi la propriété de pouvoir fonctionner en pile avec des taux d'humidité relative bas, ce qui est un avantage pour cette application.

ULTRAFILTRATION POUR LA NANO-ÉLECTRONIQUE

Les traces latentes peuvent être révélées et des « pores » de diamètres nanométriques cylindriques, coniques ou biconiques peuvent être obtenus.

La géométrie finale des pores dépend du rapport entre la vitesse d'attaque dans la trace et la vitesse d'attaque radiale dans le substrat polymère. Ces membranes nanoporeuses à traces attaquées,

connues internationalement sous l'appellation anglaise *track-etched membranes* sont commercialement disponibles pour des applications en filtration.

Elles peuvent être détournées de leur application initiale pour servir de patron ou masque pour faire croître dans les pores des nanofils métalliques par électrodéposition. Cette technique, dite de *template synthesis*, permet l'étude des propriétés de transport dans des nanostructures. Ces nanofils (dia-

PIÉGER LE MERCURE

L'étude menée pour l'amélioration de la sensibilité des capteurs a permis de faire évoluer la technique de radiogreffage.

La méthode conventionnelle souffrait jusque-là d'un défaut : la masse moléculaire et la polydispersité des chaînes de polymères greffées n'étaient pas contrôlées.

Ce problème peut désormais être résolu grâce à la mise au point récente d'une technique de polymérisation appelée *Reverse addition-fragmentation transfert* (RAFT).

Une application en voie de transfert vers l'industrie est la fabrication de petits capteurs avec des entités capables de piéger spécifiquement le mercure.

mètre/longueur : 1/1 000) trouvent leur application en électronique. Ils peuvent également servir de mémoires magnétiques logiques pour le stockage de l'information.

Ces applications concrètes en nano-électronique impliquent des études fondamentales afin d'améliorer les problèmes rencontrés sur ces petits objets comme leur vieillissement et leur fatigue sous contrainte.

« *Étudier le vieillissement et la fatigue d'objets sous contrainte* »

lissement et leur fatigue sous contrainte.

LES CAPTEURS DE MÉTAUX TOXIQUES

Le radiogreffage peut être initié non seulement dans les traces latentes, mais également dans les traces attaquées.

La polymérisation radicalaire est en effet possible dans les petits diamètres de pores (< 100 nm) à partir des radicaux résiduels présents sur les parois.

LE NANOPORE UNIQUE

Un pore unique dans un solide suscite un grand intérêt pour les études de translocation relatives au séquençage de l'ADN ou du repliement des protéines (industrie pharmaceutique).

En abaissant le flux des ions lors de l'irradiation et en coupant le faisceau au bon moment, des membranes polymères à trace unique sont obtenues.

Des études de transport sont ainsi possibles. Les effets de confinement permettent de stimuler ou freiner les ions qui traversent ce canal suivant leur nature.

Cette étude sur la conductivité dans un nanocanal intéresse les batteries lithium-ion.



Démonstrateur de capteur de métaux toxiques.

Cette démonstration a été faite sur un polymère semi-cristallin. Des études ont étendu cette propriété à d'autres polymères. Des développements récents ont abouti à la réalisation de petits capteurs de métaux toxiques pour évaluer la qualité de l'eau.

TEXTILE ET MÉDICAL

Ne sont ici décrites que les applications sur des films de polymères, mais l'irradiation peut bien entendu s'appliquer à toutes sortes de forme.

Certains objets comme des nanoparticules radiogreffées ont servi de nanomatériaux biocompatibles pour des applications en médecine (vectorisation d'agents de contraste pour l'imagerie médicale).

D'autres, sous forme de fibres, ont également un potentiel dans l'industrie textile et médicale. ■