

Υλικά για Ηλεκτροχημικές Διατάξεις Μετατροπής και Αποθήκευσης Ενέργειας

Δημήτριος Τσιπλακίδης

Τμήμα Χημείας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
Ινστιτούτο Χημικών Διεργασιών & Ενεργειακών Πόρων (ΙΔΕΠ), ΕΚΕΤΑ, Θεσσαλονίκη

Οι συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες για ενέργεια και τα αυξανόμενα επίπεδα αερίων του θερμοκηπίου που εκπέμπονται από τις συμβατικές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, έχουν οδηγήσει στην αναζήτηση νέων ενεργειακών τεχνολογιών που παρέχουν καθαρές και φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις για την κάλυψη των ενεργειακών απαιτήσεων. Είναι σαφές εδώ και δεκαετίες ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, θα έπαιζαν σημαντικό ρόλο στο σύγχρονο ενεργειακό δίκτυο με προβλέψεις που ποικίλλουν ως προς τα επίπεδα διείσδυσης και την επίδραση των ΑΠΕ στη σταθερότητα των δικτύων. Η ενσωμάτωση μεγάλου ποσοστού ΑΠΕ στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και η διαλείπουσα φύση τους, οδηγεί σε αυξημένη ζήτηση για αποθήκευση ενέργειας μεγάλης κλίμακας για εξισορρόπηση φορτίου, μείωση του φορτίου αιχμής και παροχή ενέργειας όταν η ανανεώσιμη ενέργεια δεν είναι διαθέσιμη. Ανάμεσα στις διάφορες τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας, οι ηλεκτροχημικές τεχνολογίες (μπαταρίες, κυψέλες καυσίμου, διατάξεις ηλεκτρόλυσης) παρουσιάζουν συγκριτικά πλεονεκτήματα, όπως υψηλή απόδοση, μηδενικές εκπομπές ρύπων, αθόρυβη λειτουργία και δυνατότητα κλιμάκωσης. Για το λόγο αυτό, αναμένεται να διαδραματίσουν κεντρικό ρόλο στην ενεργειακή μετάβαση από τις τεχνολογίες ορυκτών καυσίμων προς ΑΠΕ. Για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας, το υδρογόνο και τα καύσιμα βασισμένα σε υδρογόνο και διοξείδιο του άνθρακα θεωρούνται ως οι κατάλληλοι ενεργειακοί φορείς, χρησιμοποιώντας διατάξεις κυψελών καυσίμου και ηλεκτρόλυσης σε συνδυασμό με τεχνολογίες δέσμευσης, αξιοποίησης και αποθήκευσης άνθρακα.

Οι κυψέλες καυσίμου και ηλεκτρόλυσης αποτελούνται από επιμέρους υλικά και τμήματα με διαφορετικές απαιτήσεις, ανάλογα με τη συγκεκριμένη τεχνολογία (π.χ. υψηλή ή χαμηλή θερμοκρασία) και τον τρόπο λειτουργίας (κυψέλη καυσίμου ή ηλεκτρόλυσης). Τα υλικά των ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται στις διατάξεις αυτές, εκτός από τις απαιτούμενες ιδιότητες υψηλής ηλεκτροκαταλυτικής ενεργότητας, ιοντικής/ηλεκτρονικής αγωγιμότητας θα πρέπει να διαθέτουν και άλλες ιδιότητες, όπως χημική σταθερότητα, συμβατότητα με τα υπόλοιπα συστατικά της διάταξης (π.χ. παρόμοιους συντελεστές θερμικής διαστολής) και ταυτόχρονα θα πρέπει να μορφοποιούνται στα απαιτούμενα σχήματα και φυσικά να έχουν χαμηλό κόστος. Η εξεύρεση κατάλληλων υλικών απαιτεί κατανόηση των φαινομένων που λαμβάνουν χώρα κατά τη διάρκεια των ηλεκτροχημικών και καταλυτικών δράσεων σε σχέση με τη χημική σύσταση και μικροδομή των ηλεκτροδίων αλλά και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφορετικών φάσεων από τις οποίες αποτελούνται οι ηλεκτροχημικές κυψέλες. Αν και κάποιες από τις τεχνολογίες αυτές, όπως για παράδειγμα οι αλκαλικές διατάξεις ηλεκτρόλυσης νερού έχουν φτάσει σε εμπορικό επίπεδο, υπάρχει μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον για την ανάπτυξη υλικών για διατάξεις ηλεκτρόλυσης τύπου πολυμερικής μεμβράνης (PEM), που αποτελούνται από μικρότερο ποσοστό ευγενών μετάλλων ή ακόμη και την πλήρη αντικατάστασή τους. Η χρήση κατάλληλων φορέων για την διασπορά του ενεργού ηλεκτροκαταλυτικού υλικού και η ανάπτυξη ενώσεων (καρβίδια, διχαλκογενίδια) μετάλλων μετάπτωσης και υβριδικών δομών (metal-organic frameworks, MOFs) αποτελούν τις πιο υποσχόμενες προσεγγίσεις. Επιπλέον, τα τελευταία χρόνια οι διατάξεις υψηλής θερμοκρασίας, που βασίζονται σε κυψέλες στερεού οξειδίου (SOC), έχουν προκαλέσει ενδιαφέρον λόγω της υψηλότερης ηλεκτρικής τους απόδοσης σε σχέση με τις διατάξεις χαμηλής θερμοκρασίας, της εγγενούς αντιστρεπτότητας στη λειτουργία τους και την δυνατότητα εκμετάλλευσης του CO₂ προς παραγωγή καυσίμων ή χημικών προϊόντων. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις διατάξεις αυτές είναι σχετικά χαμηλού κόστους (το state-of-the-art υλικό για τα ηλεκτρόδια καυσίμου είναι το Ni) αλλά εμφανίζουν σημαντικούς περιορισμούς όσον αφορά την αντοχή τους σε δυναμικές συνθήκες λειτουργίας, στη χρήση καυσίμων που περιέχουν άνθρακα και την διάρκεια στο χρόνο. Οι λύσεις που προτείνονται είναι ο έλεγχος της μικροδομής των ηλεκτροδίων και η τροποποίηση των τυπικών κεραμομεταλλικών ηλεκτροδίων με προσθήκη μικρής ποσότητας ευγενών ή μετάλλων μετάπτωσης, αλλά και η χρήση κεραμικών υλικών ως ηλεκτρόδιο καυσίμου και οξυγόνου, υλικά που προσφέρουν έναν υποσχόμενο συνδυασμό ιδιοτήτων όπως η υψηλή καταλυτική ενεργότητα, η μικτή αγωγιμότητα και η αντοχή σε οξειδοαναγωγικούς κύκλους και εναπόθεση άνθρακα.