



Γέφυρα μεταξύ της έρευνας στη σύγχρονη φυσική
και της επιχειρηματικότητας στον τομέα της νανοτεχνολογίας

Κβαντική Φυσική

Η φυσική των πολύ μικρών στοιχείων με τις μεγάλες εφαρμογές

Μέρος 2

ΚΒΑΝΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Μαθησιακός σταθμός XII:

Μικροβιακές Κυψελίδες Καυσίμων

ΜΕΤΑΦΡΑΣΗ:



Το Quantum Spin-Off χρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση υπό το πρόγραμμα LLP Comenius (540059-LLP-1-2013-1-BE-COMENIUS-CMP).
Renaat Frans, Laura Tamassia
Επαφή: renaat.frans@khlim.be

Το παρόν υλικό αντικατοπτρίζει τις απόψεις των συγγραφέων και η Ευρωπαϊκή Επιτροπή δεν μπορεί να θεωρηθεί υπεύθυνη για τη χρήση οποιασδήποτε πληροφορίας περιέχεται στο παρόν

ΣΤΑΘΜΟΣ ΜΑΘΗΣΗΣ XII : ΜΙΚΡΟΒΙΑΚΕΣ ΚΥΨΕΛΙΔΕΣ ΚΑΥΣΙΜΩΝ

| | |
|--|-----------|
| 1. Μικροβιακές Κυψελίδες Καυσίμων (ΜΚΚ) – αρχή λειτουργίας και εφαρμογές..... | 3 |
| 1.α Πιθανές εφαρμογές των ΜΚΚ | 4 |
| 2. Κυτταρική αναπνοή..... | 5 |
| 3. Ηλεκτροχημεία και βιοηλεκτροχημεία | 7 |
| 3.α Οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις | 7 |
| 3.β Ηλεκτροχημεία..... | 8 |
| 3.γ Βιοηλεκτροχημεία | 9 |
| 4. Νανοδομές για ΜΚΚ..... | 10 |
| 4.α Μια μικρή επισκόπηση των νανοϋλικών..... | 10 |
| 4.β Νανοςύνθετα για τις ΜΚΚ..... | 11 |
| 5. Απόδοση των ΜΚΚ..... | 12 |
| 6. Κατασκευάζοντας μια χειροποίητη ΜΚΚ..... | 14 |
| 7. Έννοιες στον Σταθμό Μάθησης XII..... | 16 |

Αναφορά Δημιουργού - Μη Εμπορική Χρήση - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές (CC BY-NC-SA 4.0)



Υπό τους ακόλουθους όρους:

- Αναφορά στον δημιουργό — Πρέπει να κάνετε [κατάλληλη μνεία](#), να παρέχετε σύνδεσμο στην άδεια και [να δηλώνετε τυχόν τροποποιήσεις](#). Αυτό μπορείτε να το κάνετε με οποιονδήποτε εύλογο τρόπο, χωρίς όμως να υπονοείται ότι ο αδειοδότης εγκρίνει εσάς ή τη χρήση σας.
- Μη-εμπορική — Δεν επιτρέπεται η χρήση του υλικού για [εμπορικούς σκοπούς](#).

Μπορείτε να:

- Μοιραστείτε - να αντιγράψετε και να αναδιανείμετε το υλικό με οποιοδήποτε μέσο ή μορφή
- Προσαρμόσετε - να αναμείξετε, να τροποποιήσετε και να δημιουργήσετε πάνω στο υλικό
Ο δικαιούχος δεν μπορεί να ανακαλέσει αυτές τις ελευθερίες, εφόσον τηρείτε τους όρους της άδειας.

Αναφορά στο έργο πρέπει να γίνεται ως εξής:

Tamm, T. (2015) Quantum SpinOff Learning Station: Microbial Fuel Cell. University of Tartu Institute of Technology, Εσθονία

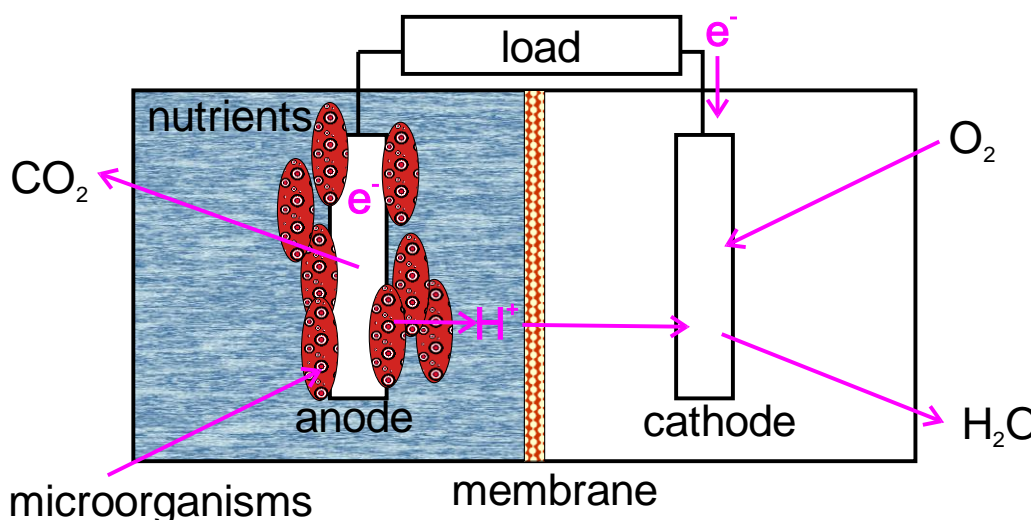
Εισαγωγή

Ο σταθμός αυτός μάθησης στοχεύει στο να εισάγει τα βασικά των διαφόρων επιστημών που είναι απαραίτητα για την κατανόηση της λειτουργίας των μικροβιακών κυττάρων καυσίμου (ΜΚΚ). Αυτή η γνώση καθιστά επίσης δυνατό να οικοδομήσουμε μία απλή μικροβιακή κυψέλη καυσίμου στο σπίτι. Εκτός από τη λεγόμενη γνώση του βιβλίου, τα τελευταία επιστημονικά επιτεύγματα τους σχετικούς κλάδους που εξετάζονται στον παρόντα σταθμό μάθησης. Από μια ευρύτερη προοπτική, αυτό το εκπαιδευτικό υλικό θα μπορούσε να προξενήσει το ενδιαφέρον των νέων ανθρώπων για θέματα σχετικά με STEM, τη λειτουργία των πραγμάτων και πρακτικές δραστηριότητες, όπως μια πραγματική συσκευή θα κατασκευαστεί εδώ βασιζόμενοι στην γνώση που αποκτήθηκε από φαινόμενα τα οποία διαφορετικά θα ίσως παραμένουν απόμακρα και πληκτικά για τους μαθητές. Καθώς η μικροβιακή κυψέλη καυσίμου βασίζεται σε φαινόμενα που σχετίζονται με πολλούς κλάδους, αυτός ο σταθμός μάθησης αποτελείται επίσης από πολλά διασυνδεδεμένα ακόμα ανεξάρτητα τμήματα.

Πρώτον, έχουμε εισαγάγει τη γενική αρχή λειτουργίας του μικροβιακού κυττάρου καυσίμου και, στη συνέχεια, βλέπουμε το τι επηρεάζει την αποδοτικότητά του. Για το σκοπό αυτό, πρέπει να μελετήσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά διαφορετικών κλάδων. Το πρώτο τμήμα σχετικό με βασικές γνώσεις είναι αφιερωμένο στις κυτταρικές διεργασίες, με έμφαση στην κυτταρική αναπνοή και το μεταβολισμό. Στη συνέχεια, θα ρίξουμε μια ματιά στην ενεργειακή πυκνότητα των οργανικών υλικών και στο πώς η ενέργεια παράγεται από αυτά. Θα γίνει μια εισαγωγή στις ηλεκτροχημικές διεργασίες, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων που συμβαίνουν στο βίοκοσμο. Τέλος, θα δούμε ποια υλικά είναι κατάλληλα για την οικοδόμηση μιας μικροβιακής κυψέλης καυσίμου και θα πάρουμε μια γεύση από τα τελευταία επιστημονικά επιτεύγματα στον τομέα αυτό.

1. Μικροβιακή κυψελίδα καυσίμου – αρχή λειτουργίας και εφαρμογές

Σε γενικές γραμμές, η αρχή λειτουργίας του μικροβιακού κυττάρου καυσίμου (ΜΚΚ) είναι η εξής: Τα ηλεκτρόνια που παράγονται από μικροοργανισμούς συλλαμβάνονται στη συσκευή, παράγοντας έτσι (ηλεκτρική) ενέργεια από την κυψέλη καυσίμου. Μικροοργανισμοί λαμβάνουν ενέργεια εκτελώντας διάφορες διεργασίες οξειδωσης και αναγωγής, κατά τη διάρκεια της οποίας χημική ενέργεια μετατρέπεται (εν μέρει) σε ηλεκτρική ενέργεια. Όταν οξειδώνεται η οργανική ύλη, οι μικροοργανισμοί απελευθερώνουν ηλεκτρόνια. Στη φύση, τα απελευθερούμενα ηλεκτρόνια αξιοποιούνται σε άλλες διαδικασίες, ενώ η ιδέα πίσω από τις ΜΚΚ είναι ότι αυτά τα ηλεκτρόνια συλλαμβάνονται από το ηλεκτρόδιο (άνοδος), από το οποίο κινούνται σε ένα εξωτερικό κύκλωμα, καθιστώντας δυνατό για την ενέργειά τους να χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση μιας ηλεκτρικής συσκευής. Στη συνέχεια, τα ηλεκτρόνια κινούνται προς το αντίθετο ηλεκτρόδιο (κάθοδος), όπου μια διαδικασία αναγωγής (τυπικά, αναγωγή του οξυγόνου) λαμβάνει χώρα. Εκτός από τα ηλεκτρόνια, πρωτόνια που παράγονται στην οξείδωση και χρησιμοποιούνται στην αναγωγή πρέπει να κινηθούν από το ένα ηλεκτρόδιο στο άλλο. Συνήθως, τα πρωτόνια μεταφέρονται στην απέναντι ηλεκτρόδιο μέσω μιας μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων.



Σχήμα 1. Αρχή λειτουργίας της MKK

Ομοίως με πολλά άλλα φαινόμενα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τη σύγχρονη επιστήμη, η ικανότητα των μικροοργανισμών να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια ανακαλύφθηκε εδώ και αρκετό - ήδη το 1911, όπου ο M.Potter κατάφερε να κάνει *E. Coli* να παράξει ηλεκτρική ενέργεια. Ωστόσο, οι δεκαετίες πέρασαν έως ότου η αρχή πίσω από MKK έγινε πραγματικά κατανοητή και οι επιστήμονες άρχισαν να ερευνούν πιο προσεκτικά. Το έργο της H.P. Bennetto στις αρχές του 1980 βοήθησε σημαντικά να γυρίσει η MKK από ένα περίεργο αντικείμενο έρευνας σε μια συσκευή με πραγματικό πρακτικό ενδιαφέρον.

1.α Πιθανές εφαρμογές των MKK

Οι MKK αναφέρονται συχνά ως μια σημαντική εναλλακτική πηγή ενέργειας του μέλλοντος. Ωστόσο, υπάρχει ακόμη πολύς δρόμος να διανύσουμε πριν αυτό μπορέσει να επιτευχθεί. Μέχρι στιγμής, μόνο διαφορετικές εξειδικευμένες εφαρμογές έχουν αναπτυχθεί. Μερικά από τα πιο ρεαλιστικά πεδία εφαρμογής παρατίθενται παρακάτω.

1. Επεξεργασία λυμάτων. Οι Μικροοργανισμοί έχουν το πλεονέκτημα να έχουν μια διπλή λειτουργία: εκτός από την παραγωγή ενέργειας, μπορούν επίσης να καθαρίζουν το νερό. Αυτό αναμένεται να είναι ιδιαίτερα επωφελές για τον καθαρισμό λυμάτων από τη γεωργία ή τη βιομηχανία τροφίμων, όπου έχουμε υψηλές συγκεντρώσεις σε οργανική ύλη. Εδώ, η κύρια λειτουργία της MKK θα ήταν η εξισορρόπηση στην ενέργεια που καταναλώνεται κατά την επεξεργασία λυμάτων.

2. Υποβρύχια ή τηλεπισκοπική παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

Χάρη στις προόδους στην ηλεκτρονική, οι σύγχρονες συσκευές απαιτούν όλο και λιγότερη ενέργεια. Διάφοροι αυτόνομοι αισθητήρες, οι οποίοι, για παράδειγμα, παρακολουθούν τις περιβαλλοντικές συνθήκες βρίσκονται σε μέρη που είναι δύσκολη η πρόσβαση, κάτι το οποίο καθιστά την αλλαγή των μπαταριών τους εξαιρετικά δύσκολη. Η ικανότητα των MKK να χρησιμοποιούν τοπική οργανική ύλη ως καύσιμο θα είναι εξαιρετική για τέτοιες εφαρμογές, δεδομένου ότι η δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας σε συσσωρευτές ή υπερπυκνωτές και της χρήσης της, όπως απαιτείται αντισταθμίζει την χαμηλή ισχύ τους. Μερικά συστήματα αισθητήρων βασίζονται σε MKK βρίσκονται σε συνεχή χρήση για περισσότερα από πέντε χρόνια, γεγονός το οποίο είναι ένα αξιοσημείωτο επίτευγμα σε σύγκριση με τις περισσότερες από τις εναλλακτικές λύσεις.

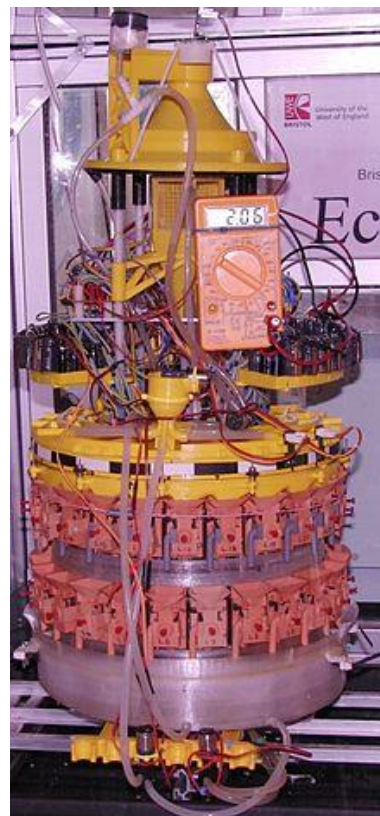
3. Παραγωγή μεθανίου ή υδρογόνου

Αν ο χώρος της καθόδου έχει επίσης αναερόβιες συνθήκες, τότε, με το κόστος της τάσης εξόδου (η οποία ελαττώνεται ελαφρά), είναι δυνατό να παραχθεί είτε μεθάνιο, είτε υδρογόνο στην κάθοδο, αναλόγως με τις συνθήκες: το μεθάνιο ή το υδρογόνο μπορεί τότε να συλλεγεί και να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Αυτό το πολυλειτουργικό σύστημα είναι επίσης γνωστό ως μικροβιακός αντιδραστήρας.

4. Αυτόνομα ρομπότ. Η χρήση των ΜΚΚ ως πηγή ενέργειας για αυτόνομα ρομπότ έχει διερευνηθεί σε μεγάλο βαθμό. Ένα από τα πιο εξελιγμένα συστήματα που έχουν αναπτυχθεί είναι η σειρά EcoBot, η 3^η γενιά της οποίας (δείτε σχήμα 2) κυκλοφόρησε το 2010. Η πηγή ενέργειας του ρομπότ αποτελούνταν από μια μπαταρία με 48 ΜΚΚ. Ανάμεσα σε άλλα πράγματα, το ρομπότ μπορούσε να βρεί «φαγητό» μόνο του. Προς ώρας, η 4^η γενιά είναι σε στάδιο ανάπτυξης. Μπορείτε να βρείτε περισσότερες λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με αυτόνομα ρομπότ στον ιστότοπο του Εργαστηρίου Ρομποτικής του Bristol:

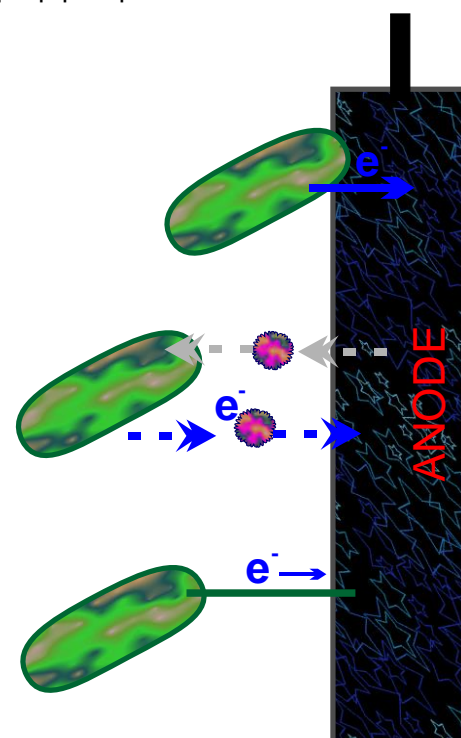
<http://www.brl.ac.uk/researchthemes/bioenergysustainable/ecobotprojectoverview.aspx>.

Μπορείτε να διαβάσετε περισσότερα σχετικά με την κατασκευή ΜΚΚ σε μεγαλύτερη κλίμακα στην παρακάτω εργασία: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00253-009-2378-9> (B.E. Logan. *Scaling up microbial fuel cells and other bioelectrochemical systems*. Applied Microbiology and Biotechnology 85(6), 2009, 1665-71).



2. Κυτταρική Αναπνοή

όπως και άλλοι ζωντανοί οργανισμοί, έτσι και οι μικροοργανισμοί χρειάζονται ενέργεια για να μεγαλώσουν, να αναπτυχθούν ακόμα και για να υπάρχουν. Για να λάβουν ενέργεια, επίσης χρειάζονται- πέραν ενός κατάλληλου περιβάλλοντος και τροφής – έναν λήπτη ηλεκτρονίων έτσι ώστε να λάβουν τα ηλεκτρόνια που παράγονται κατά τη διάρκεια της οξειδωσης. Η αναπνοή στα φυτά και τα ζώα βασίζεται στο οξυγόνο το οποίο είναι ο τελικός λήπτης ηλεκτρονίων στα πολλά στάδια της διαδικασίας μεταφοράς ηλεκτρονίων. Με άλλα λόγια, η αναγωγή του οξυγόνου είναι μια διαδικασία στην οποία τα εναπομένοντα ηλεκτρόνια αξιοποιούνται. Το ενεργειακό σύστημα των βακτηρίων είναι πολύ πιο ευέλικτο από αυτό: ως αποδέκτες ηλεκτρονίων, τα διαφορετικά βακτήρια μπορούν να χρησιμοποιήσουν θείο και τις διάφορες ενώσεις του, αρκετές ενώσεις του αζώτου και σε μερικές περιπτώσεις, ακόμη και μεταλλικές ενώσεις με μεγάλο αριθμό οξειδωσης. Αυτή η προσαρμοστικότητα επιτρέπει στα βακτήρια να κατοικήσουν σε περιβάλλοντα (ακόμα και σε αναερόβια περιβάλλοντα) τα οποία είναι απαγορευτικά για άλλους οργανισμούς. Επιπλέον, πολλά βακτήρια είναι επίσης ικανά να προσαρμοστούν σε ασταθείς ή μεταβαλλόμενες συνθήκες και σκοπό για κάθε περίπτωση. Ακόμη, ο αερόβιος (δηλαδή ο βασιζόμενος σε οξυγόνο) μεταβολισμός είναι πολύ πιο αποτελεσματικός

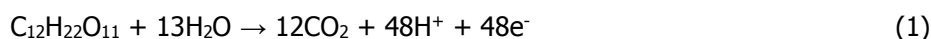


Σχήμα 3. Διαφορετικές μέθοδοι με τις οποίες τα βακτήρια μεταφέρουν ηλεκτρόνια στην άνοδο: άμεση (πάνω), με χρήση διαμεσολαβητή (μέση), και χρησιμοποιώντας ένα νανοκαλώδιο (κάτω)

Κβαντοφ

από τον αναερόβιο μεταβολισμό, που είναι ο λόγος για τον οποίο τα βακτήρια επίσης προτιμούν αερόβιες διαδικασίες για να προσλαμβάνουν ενέργεια όποτε αυτό είναι δυνατό. Αν σε ένα περιβάλλον δεν υπάρχουν οι κατάλληλοι λήπτες ηλεκτρονίων, μερικά βακτήρια μπορούν να χρησιμοποιήσουν έναν ακόμη λιγότερο αποτελεσματικό εναλλακτικό τρόπο λήψης ενέργειας – την ζύμωση. Στην περίπτωση της ζύμωσης, ο τελικός αποδέκτης ηλεκτρονίων βρίσκεται μέσα στο κύτταρο. Τα βακτήρια του γαλακτικού οξέος για παράδειγμα, λαμβάνουν ενέργεια μέσω ζύμωσης της λακτόζης – μια διαδικασία που έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή γαλακτικού οξέος. Στην καθημερινότητά μας, βλέπουμε αυτό το φαινόμενο στο ξινισμένο γάλα (τόσο το επειτηδευμένα ξινισμένο, όσο και αυτό το οποίο χάλασε). χρησιμοποιούν τις πιο αποτελεσματικές διαδικασίες για το

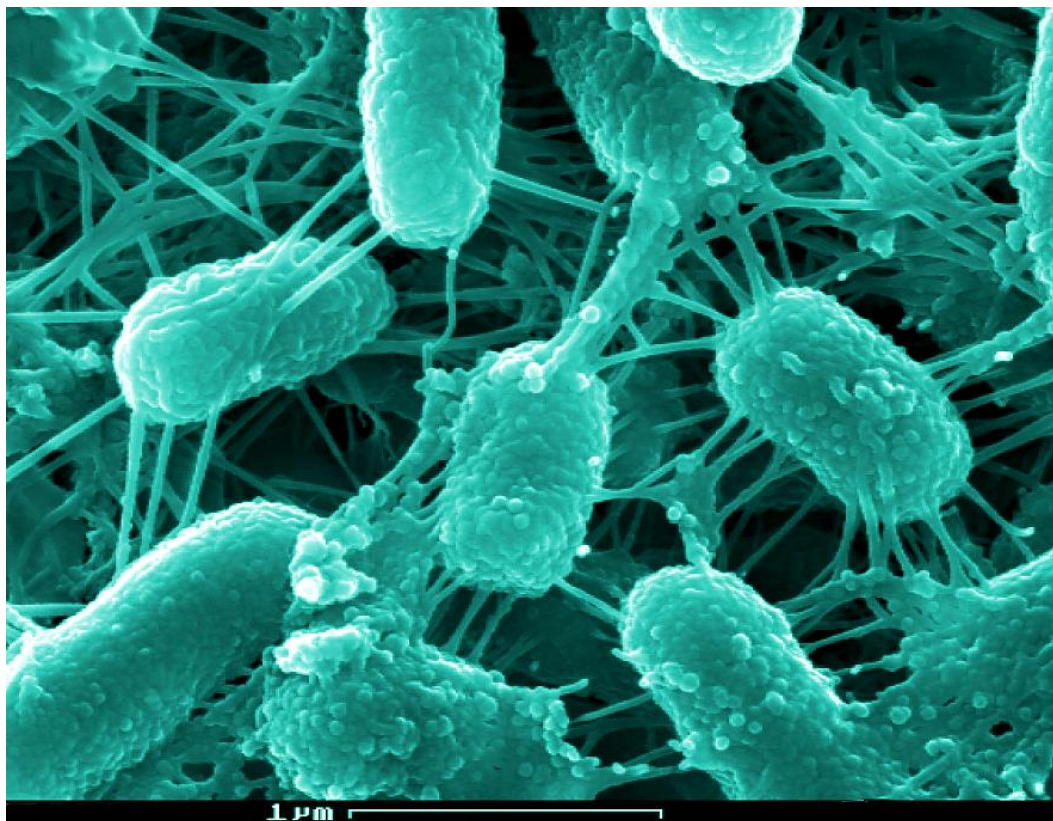
Η κυτταρική αναπνοή είναι το σετ μεταβολικών αντιδράσεων και διαδικασιών στα κύτταρα των οργανισμών. Αυτές οι διαδικασίες έχουν ως αποτέλεσμα την μεταβολή της βιοχημικής ενέργειας των θρεπτικών συστατικών σε ενέργεια που αποθηκεύεται σε τριφωσφορική αδενοσίνη (ATP) και στην αποβολή άχρηστων ουσιών. Εν γένει, η κυτταρική αναπνοή είναι εξώθερμη, δηλαδή μέρος της ενέργειας απελευθερώνεται υπο τη μορφή θερμότητας κατά την διάρκεια της διαδικασίας. Η αναερόβια κυτταρική αναπνοή, κατά την οποία η ενέργεια λαμβάνεται από τη ζάχαρη, περιγράφεται από την χημική αντίδραση (1).



Η εξίσωση (1) δείχνει ότι πέρα από τα ηλεκτρόνια, η αντίδραση παράγει μεγάλο αριθμό πρωτονίων, δηλαδή κατιόντα υδρογόνου, τα οποία πρέπει επίσης να ξεφορτωθούμε, αφού το περιβάλλον στον οργανισμό θα γινόταν υπερβολικά όξινο (δηλαδή το pH θα γινόταν πολύ χαμηλό).

Για να επιτύχουν παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω MKK, τα βακτήρια τοποθετούνται σε συνθήκες όπου οι πιθανότητες εύρεσης κατάλληλων δεκτών ηλεκτρονίων στο περιβάλλον γύρω τους (διάλυμα) είναι πολύ χαμηλές. Για να συνεχίσουν να χρησιμοποιούν την αναπνοή αντί για την πολύ λιγότερο αποτελεσματική ζύμωση για λήψη ενέργειας, τα βακτήρια χρησιμοποιούν έναν εξωκυτταρικό λήπτη ηλεκτρονίων – ένα στερεό ηλεκτρόδιο (άνοδο). Τα πρωτόνια από την άλλη πλευρά, πρέπει να καταλήξουν στην κάθοδο όπου και θα εξουδετερωθούν. Χρησιμοποιώντας το ηλεκτρόδιο ως λήπτη, επιτρέπει στα βακτήρια να εποικήσουν τον περίγυρο του ηλεκτροδίου (άνοδο) και να βρουν τον πιο ταιριαστό τρόπο μεταφοράς ηλεκτρονίων. Τα βακτήρια έχουν αναπτύξει διάφορες στρατηγικές μεταφορές ηλεκτρονίων στην άνοδο (δείτε εικόνα 3).

Μία εναλλακτική είναι να χρησιμοποιήσουν έναν μεσολαβητή ο οποίος θα μεταφέρει το ηλεκτρόνιο μέσα από την κυτταρική μεμβράνη. Ένας μεσολαβητής επίσης προστίθεται ώστε να χρησιμοποιήσει ηλεκτροχημικά ανενεργά βακτήρια στις MKK. Ωστόσο, η προσθήκη τέτοιων επιπλέον διαμεσολαβητών είναι τόσο ακριβή όσο και τοξική. Γι αυτό το λόγο οι MKK χωρίς διαμεσολαβητή, οι οποίες βασίζονται σε ηλεκτροχημικά ενεργά βακτήρια (π.χ τα είδη *Geobacter* και *Shewanella* τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως στις MKK) είναι σε θέση να αναπτύξουν νανοκαλώδια, μέσα από τα οποία θα μεταφερθούν τα ηλεκτρόνια απευθείας στο ηλεκτρόδιο, αλλά και στα γειτονικά βακτήρια, τα οποία τότε προωθήσουν το ηλεκτρόνιο. Μία ακόμη πιο συναρπαστική λύση είναι η δυνατότητα μερικών βακτηρίων να παράξουν ή να χρησιμοποιήσουν ήδη υπάρχοντα μόρια με συγκεκριμένες ιδιότητες ως οχήματα μεταφοράς τα οποία «πετούν» τα ηλεκτρόνια στον λήπτη.

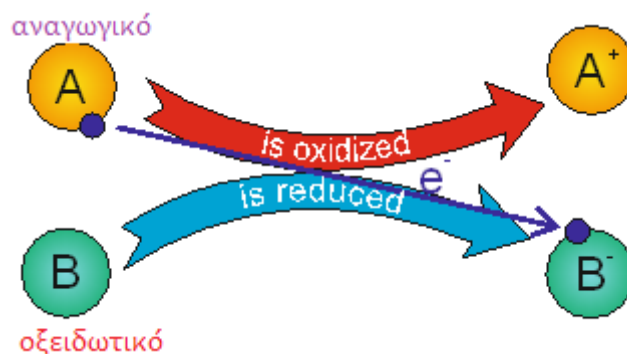


Σχήμα 4. Τα νανοκαλώδια συνδέουν τα βακτήρια (προσαρμοσμένη μικρογραφία που ελήφθη από ένα SEM, από το BlueTechBlog – <http://bluetechblog.com/2010/06/15/make-electricity-not-sludge/>)

3. Ηλεκτροχημεία και βιοηλεκτροχημεία

3.α Οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις

Προτού γνωρίσουμε την ηλεκτροχημεία, ας ρίξουμε μια ματιά στις οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις γενικά – πέραν των άλλων, οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις είναι μια υποκατηγορία οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων. Οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις είναι διαδικασίες στις οποίες το ηλεκτρόνιο κινείται από ένα σωματίο (μόριο ή ιόν) σε ένα άλλο (μόριο ή ιόν). Η αναγωγή και η οξείδωση πάντα πάνε μαζί: όταν ένα σωματίο (αναγωγικό) χάνει ένα ηλεκτρόνιο (οξειδώνεται), ένα άλλο σωματίο (οξειδωτικό) πρέπει να λάβει το ηλεκτρόνιο (και άρα ανάγεται). Αυτές οι μεταβάσεις και οι σχετικές έννοιες εμφανίζονται στην εικόνα 5. Οι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις είναι ένας πολύ κοινός τύπος αντιδράσεων – κάθε φορά που μια θεμελιώδης ουσία μετατρέπεται σε ένωση ή το αντίστροφο, παρατηρούμε μια οξειδοαναγωγική αντίδραση. Στην περίπτωση αντιδράσεων που συμβαίνουν ανάμεσα σε ενώσεις, μία οξειδοαναγωγική αντίδραση μπορεί να ταυτοποιηθεί από την μεταβολή στον αριθμό οξείδωσης μερικών από τα στοιχεία κατά τη διάρκεια της αντίδρασης.



Σχήμα 5. Όροι για την περιγραφή οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων. Αναγωγική είναι μια ουσία που προσφέρει ηλεκτρόνια και κατά συνέπεια οξειδώνεται. Οξειδωτική είναι μια ουσία που λαμβάνει τα ηλεκτρόνια επομένως η ίδια ανάγεται.

3.β Ηλεκτροχημεία

Η ηλεκτροχημεία ασχολείται με **ηλεκτροχημικές αντιδράσεις** – αυτές είναι οξειδοαναγωγικές αντιδράσεις οι οποίες συμβαίνουν μόνο όταν υπάρχει εξωτερικό ηλεκτρικό ρεύμα (ηλεκτρόλυση) ή, ανάποδα, αυθόρμητες αντιδράσεις κατά τις οποίες παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα (ηλεκτροχημικό στοιχείο). Ένα άλλο χαρακτηριστικό των ηλεκτροχημικών αντιδράσεων είναι ότι η οξείδωση και η αναγωγή δεν λαμβάνουν χώρα στην ίδια θέση, αλλά χωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη (ιοντικό αγωγό), ενώ τα ηλεκτρόνια κινούνται μέσα από ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Οι ηλεκτροχημικές αντιδράσεις γενικά συμβαίνουν στα ηλεκτρόδια, τα οποία συνήθως είναι φτιαγμένα από μέταλλο ή από ημιαγωγό.

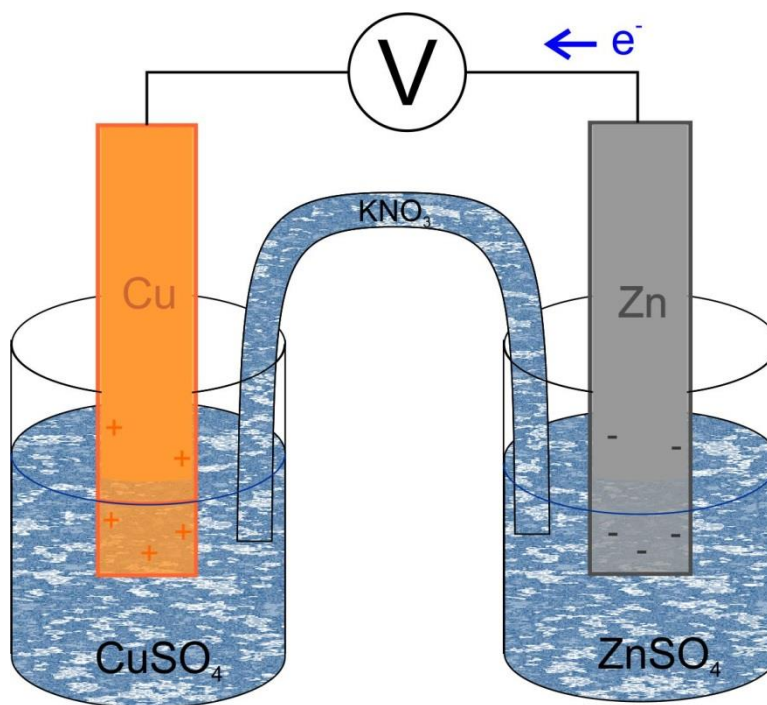
Όταν ένα κομμάτι μετάλλου (π.χ ένα ηλεκτρόδιο) βυθιστεί σε ένα διάλυμα άλατος του ίδιου μετάλλου, εμφανίζεται διαφορά δυναμικού στην επαφή ανάμεσα στο μέταλλο και το διάλυμα. Το ηλεκτρόδιο αποκτά ένα καθορισμένο δυναμικό συγκριτικά με το διάλυμα – **δυναμικό ηλεκτροδίου**. Ένα λιγότερο δραστικό μέταλλο (όπως ο χαλκός) αποκτά ένα θετικό δυναμικό, επειδή μερικά από τα ιόντα χαλκού έλκονται από το ηλεκτρόδιο. Στην αντίστοιχη εξίσωση (2), το χημικό ισοζύγιο είναι μετατοπισμένο δεξιά (προϊόντα της αντίδρασης).



Στην περίπτωση πιο δραστικών μετάλλων, όπως ο ψευδάργυρος, η διαδικασία είναι η αντίστροφη: το κομμάτι μετάλλου τείνει να διαλύεται και το ηλεκτρόδιο αποκτά αρνητικό δυναμικό σχετικά με το διάλυμα. Στην αντίστοιχη εξίσωση (3), το χημικό ισοζύγιο είναι μετατοπισμένο αριστερά (αντιδρώντα).



Το μέγεθος του δυναμικού επομένως εξαρτάται από την φύση του μετάλλου αλλά και από την συγκέντρωση και την θερμοκρασία του διαλύματος. Καμία διαδικασία δεν μπορεί να προχωρήσει για πολύ καιρό μόνη της, επειδή στην περίπτωση λιγότερο δραστικών μετάλλων (Cu), θα τελειώσουν τα ηλεκτρόνια του ηλεκτροδίου, ενώ στα πιο δραστικά μέταλλα (Zn) θα υπάρχει υπερβολική συσσώρευση ηλεκτρονίων. Παρ' όλα αυτά, αν συνδέσουμε αυτά τα δύο κομμάτια μετάλλου σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα και εγκαταστήσουμε ιοντική αγωγιμότητα ανάμεσα στα διαλύματα (χρησιμοποιώντας μια γέφυρα άλατος ή μια μεμβράνη), έχουμε χτίσει ένα ηλεκτροχημικό κελί (δείτε εικόνα 6). Τα ηλεκτρόνια μπορούν να μετακινηθούν από ένα ηλεκτρόδιο (άνοδο) στο άλλο (κάθοδο), και η διαδικασία μπορεί να συνεχιστεί έως ότου υπάρχουν αρκετά είδη που αλληλεπιδρούν.



Σχήμα6. Ηλεκτροχημικό στοιχείο, όπου η οξειδοαναγωγική αντίδραση $\text{Cu}^{2+} + \text{Zn} = \text{Cu} + \text{Zn}^{2+}$ συμβαίνει σε διαφορετικά ηλεκτρόδια, και τα ηλεκτρόνια μετακινούνται μέσα από εξωτερικό κύκλωμα από την άνοδο (Zn) στην κάθοδο (Cu).

3.γ Βιοηλεκτροχημεία

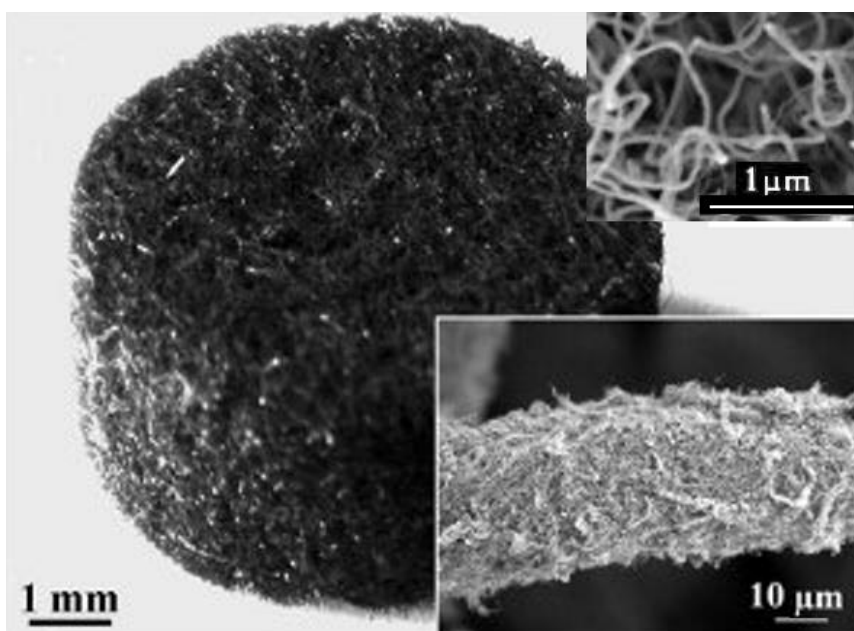
Τόσο η ηλεκτροχημεία όσο και η βιοηλεκτροχημεία προέρχονται από τα πειράματα των φημισμένων A. Volta και L. Galvani στον 18^ο αιώνα. Η βιοηλεκτροχημεία είναι η μελέτη και η εφαρμογή των βιολογικών διαδικασιών μεταφοράς ηλεκτρονίων. Σήμερα η βιοηλεκτροχημεία είναι πιο ευρέως διαδεδομένη, με συνδέσμους με τη φαρμακευτική και τη φυσιολογία καθώς και με βιοχημικούς αντιδραστήρες, οι οποίοι επίσης συμπεριλαμβάνουν ΜΚΚ. Οι ΜΚΚ δεν είναι το μόνο πεδίο στο οποίο η ηλεκτροχημεία και η (κυτταρική) βιολογία συναντώνται. Για παράδειγμα, οι επιστήμονες επίσης διερευνούν πώς τα βιολογικά υλικά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην ηλεκτρονική, αποθήκευση δεδομένων, κατασκευή βιοανιχνευτών, βιονική, και αλλού. Ένα ακόμη ταχέως αναπτυσσόμενο πεδίο είναι η μικροβιακή ηλεκτροσύνθεση, η οποία αξιοποιεί μικροοργανισμούς για να συνθέσει νέες ουσίες.

Για να μάθετε περισσότερα σχετικά με τις πιθανές εφαρμογές της βιοηλεκτροχημείας, μπορείτε να διαβάσετε το παρακάτω άρθρο: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/13640321> (Deepak Pant, Anoop Singh, Gilbert Van Bogaert, Yolanda Alvarez Gallego, Ludo Diels, Karolien Vanbroekhoven. *An introduction to the life cycle assessment (LCA) of bioelectrochemical systems (BES) for sustainable energy and product generation: Relevance and key aspects*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15 (2), 2011, 1305–1313.)

4. Νανοδομές για τις ΜΚΚ

4.a Μία μικρή επισκόπηση των νανοϋλικών

Για πολύ καιρό, οι ΜΚΚ δεν θεωρούνταν ελπιδοφόρες λόγω του χαμηλού ρυθμού παραγωγής τους και της χαμηλής απόδοσής τους (ειδικά σε σχέση με άλλες κυψέλες καυσίμου), ενώ η κατασκευή τους απαιτούσε αρκετά ακριβά υλικά. Το υλικό της καθόδου (συνήθως πλατίνα ή κάποιος άλλος καταλύτης που λειτουργούσε με αναγωγή οξυγόνου) κοστίζει λιγότερο από το μισό της τιμής μιας τυπικής ΜΚΚ, και η τιμή του υλικού της μεμβράνης κοστίζει άλλο τόσο περίπου. Ωστόσο, το πεδίο έχει αναπτυχθεί σημαντικά τελευταία – με την εισαγωγή φθηνότερων νανοσύνθετων υλικών, συνήθως αυτά που βασίζονται σε νανοσυνθετικό άνθρακα (δες την εικόνα 7) για την κατασκευή ηλεκτροδίων είναι ένα από τα πιο σημαντικά. Τέτοια ηλεκτρόδια έχουν καλύτερη αγωγιμότητα, καλή ανθεκτικότητα, μία μεγάλη ειδική επιφάνεια, και συνήθως επιδεικνύουν χρήσιμες καταλυτικές ιδιότητες. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό ζήτημα στον σχεδιασμό των ΜΚΚ, επειδή το υλικό των ηλεκτροδίων παίζει τον πιο σημαντικό ρόλο στην αποδοτικότητά τους. Ο υλικό της ανόδου ρυθμίζει την προσκόλληση βακτηριδίων και την ταχύτητα μεταφοράς των ηλεκτρονίων καθώς και την οξειδωση των θρεπτικών συστατικών, η οποία με τη σειρά της καθορίζει την ισχύ της ΜΚΚ. Η επιφάνεια και οι καταλυτικές ιδιότητες για την επιτάχυνση της αναγωγής του οξυγόνου είναι επίσης σημαντικές για την κάθοδο.



Σχήμα 7. Figure 7. Ανθρακόνημα το οποίο περιέχει νανοδομές από ίνες άνθρακα, εικόνες σε διαφορετικές κλίμακες (εικόνες: R. Vieira, <http://dx.doi.org/10.5772/8145>)

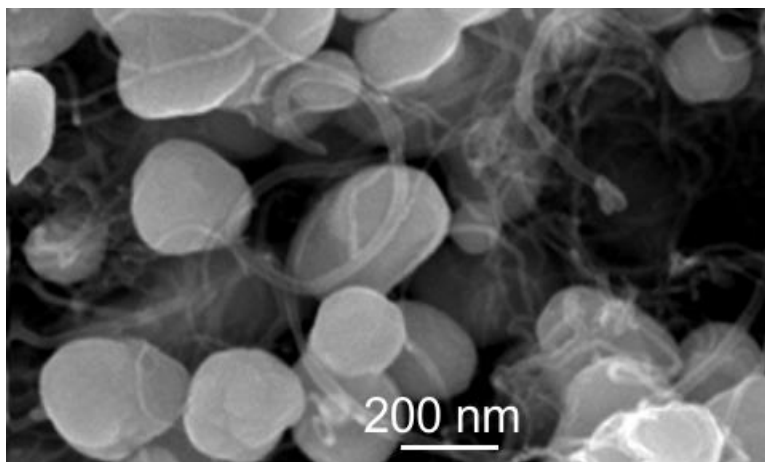
Τα τελευταία χρόνια, η νανοτεχνολογία έχει φέρει την επανάσταση σε πολλά πεδία της επιστήμης και της τεχνολογίας, καθώς συγκεκριμένες ιδιότητες οι οποίες οφείλονται στην νανομετρική κλίμακα επιτρέπουν στους επιστήμονες είτε να βελτιώσουν σημαντικά την συμπεριφορά διαφόρων υλικών ή να δημιουργήσουν επιφάνειες και υλικά με ολοκληρωτικά νέες ιδιότητες. Τα επιτεύγματα της νανοτεχνολογίας αξιοποιούνται σε ένα πλήθος πεδίων, συμπεριλαμβανομένων των υφασμάτων, των γυαλιών, των πλαστικών καθώς και της σύνθετης τεχνολογίας καθώς και της παραγωγής τροφοδοτικών, ηλεκτρονικών, οπτικών, φαρμακευτικών και πολλών άλλων συσκευών και αντικειμένων. Επιπρόσθετα στις εξαιρετικές τους ιδιότητες, τα νανοτεχνολογικά υλικά τείνουν να έχουν χαμηλή τιμή χάρη στην υψηλή αποδοτικότητά τους: επίσης, η Παρασκευή και η χρήση τέτοιων υλικών παράγει λιγότερα απόβλητα και λιγότερη ρύπανση του περιβάλλοντος.

Η νανοτεχνολογία είναι ένας όρος για τεχνολογίες στις οποίες, χρησιμοποιώντας σωμάτια μικρότερα

από 100 nm οδηγούμαστε σε νέες ιδιότητες (με μία ποιοτική έννοια) σε σχέση με υλικά που βασίζονται σε μεγαλύτερα σωμάτια. Μία μεγάλη ειδική επιφάνεια, αλλά επίσης υψηλή δραστικότητα (κυρίως λόγω της μεγάλης ειδικής επιφάνειας) και (χημική) επιλεκτικότητα είναι μερικά από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των νανοσωματιδίων. Οι ηλιακοί συλλέκτες, οι υπερπυκνωτές, καθώς και άλλα μοντέρνα τεχνολογικά επιτεύγματα δεν θα ήταν εφικτά να γίνουν αν δεν υπήρχε η νανοτεχνολογία. Τα νανοσωμάτια επίσης επιδεικνύουν πολύ μεγαλύτερη βιολογική δραστηριότητα, η οποία, ωστόσο, θα μπορούσε να αποτελεί αρνητική ιδιότητα σε μερικές περιπτώσεις, λόγω χάριν ως προς την τοξικότητα.

Οι νανοσωλήνες άνθρακα είναι αναμφίβολα μερικά από τα πιο προβεβλημένα νανοϋλικά τον τελευταίο καιρό. Ο λόγος του μήκους δια την διάμετρο των κυλινδρικών σωλήνων μπορεί να είναι μερικά εκατομμύρια προς ένα, το οποίο, μαζί με την δύσσημη και την αγωγιμότητα, είναι η κύρια ιδιότητα που προσπαθεί να αξιοποιήσει η τεχνολογία. Παράλληλα, αρκετά τεχνικά ζητήματα πρέπει να λυθούν όταν πρόκειται για την χρήση νανοσωλήνων: για παράδειγμα, μη διαμορφωμένοι νανοσωλήνες είναι αδιάλυτοι, κάτι το οποίο καθιστά την παραγωγή λεπτών στρωμάτων δύσκολη. Η χρήση νανοσωλήνων σε βιολογικές εφαρμογές είναι εξ΄ισου περίπλοκη, επειδή οι νανοσωλήνες τείνουν να είναι κυτοτοξικοί, δηλαδή φονικά τοξικοί στα κύτταρα. Επομένως, οι νανοσωλήνες άνθρακα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις ΜΚΚ ή άλλα μικροβιακά συστήματα εκτός αν περάσουν από σημαντική χημική επεξεργασία για να αυξηθεί η διαλυτότητά τους και να ελαττωθεί η τοξικότητά τους.

Τα νανوسύνθετα υλικά είναι πολυφασικές ενώσεις στις οποίες τουλάχιστον ένα από τας υστατικά έχει τουλάχιστον μια διάσταση μικρότερη από 100nm (δείτε την εικόνα 8). Τέτοια υλικά μπορεί να έχουν οργανική ή ανόργανη προέλευση- και οι δύο περιπτώσεις χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην επιστήμη και την τεχνολογία. Ιδιαίτερη προσοχή δίδεται σε πολυμερή νανوسύνθετα, όπου η άρτια κατανομή των νανοσωματιδίων στον πίνακα του πολυμερούς δίνει στο υλικό σημαντικά βελτιωμένες ιδιότητες όταν χρησιμοποιείται μικρή ποσότητα υλικού.



Σχήμα 8. Νανوسύνθετο το οποίο παρασκευάστηκε από νανοσωλήνες άνθρακα και νανοσωματίδια χαλκού (εικόνα από Bioneer Corp. <http://nanobio.bioneer.com>)

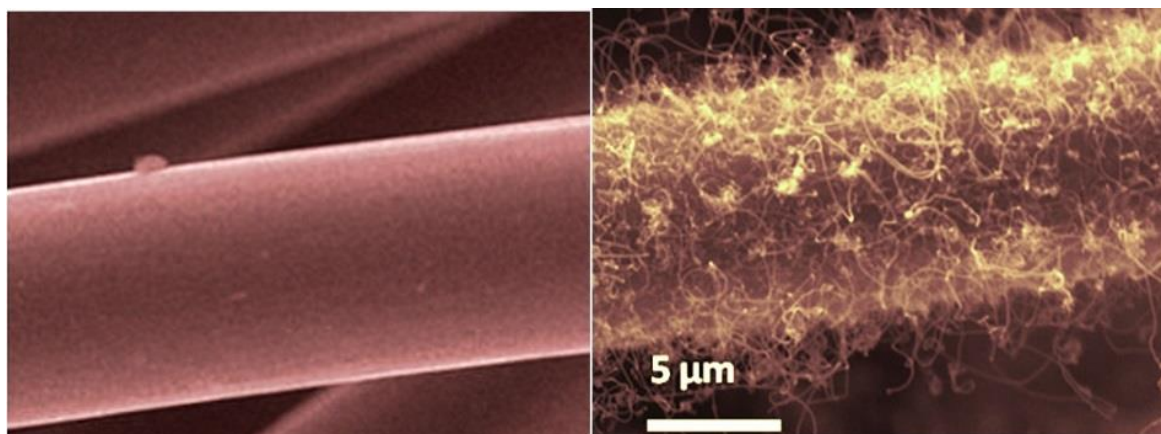
Μπορείτε να διαβάσετε περισσότερα για τα διάφορα νανوسύνθετα υλικά στον Σταθμό Μάθησης XI: Από την Κβαντική Μηχανική στα Νανοσωμάτια και τις Εφαρμογές τους.

4.β Νανوسύνθετα για τις ΜΚΚ

Η ενέργεια που παράγεται από τις ΜΚΚ βασίζεται άμεσα στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων τους, αλλά η κατασκευή συσκευών με γιγαντιαία ηλεκτρόδια προφανώς δεν είναι πρακτική. Κατα συνέπεια, τα

ηλεκτρόδια θα πρέπει να κατασκευάζονται από υλικά με μεγάλη ειδική επιφάνεια, όπου η επιφάνεια χρήσιμου υλικού ανά μονάδα μάζας ή όγκου είναι όσο πιο μεγάλη γίνεται. Διάφορα υλικά από άνθρακα με μεγάλες ειδικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται στις ανόδους των ΜΚΚ: χαρτί άνθρακα, ανθρακονήματα, κ.α.

Η ειδική επιφάνεια της κύριας μικροδομής συνήθως μπορεί να αυξηθεί και οι ιδιότητές της βελτιώνονται μέσω πρόσθετων νανοδομών ή προσαρμογών (δείτε την εικόνα 9). Επιπρόσθετα στην μεγάλη επιφάνεια, πολλά υλικά από άνθρακα έχουν επίσης τις καλές ιδιότητες ότι είναι σταθερές σε βιολογικά περιβάλλοντα και ότι έχουν ικανοποιητική ηλεκτρική αγωγιμότητα. Όσον αφορά στις καθόδους, μία παραδοσιακή αλλά μάλλον ακριβή προσέγγιση περιλαμβάνει την κάλυψη μεγάλου εμβαδού επιφανείας (άνθρακα) υλικού με πλατίνα, η οποία θεωρείται ότι δρα σαν καταλύτης αναγωγής οξυγόνου. Αγωγιμα πολυμερή επίσης χρησιμοποιούνται στην κατασκευή ηλεκτροδίων, είτε σαν καταλύτες στην κάθοδο για την σύνδεση με κάποιον άλλον καταλύτη ή για την σύνδεση σωματίων υλικού από άνθρακα στην άνοδο ή την κάθοδο. Επιπρόσθετα με την ηλεκτρική αγωγιμότητα, τέτοια πολυμερή έχουν αρκετές καλές ιδιότητες. Για παράδειγμα, είναι βιοσυμβατά, ανθεκτικά και συντίθενται με εύκολο και ελεγχόμενο τρόπο. Η ελεγχόμενη σύνθεση είναι πολύ σημαντική στην κατασκευή ηλεκτροδίων καθώς η αποδοτικότητα των ΜΚΚ συχνά εξαρτάται στην μικρο- ή νανοδομή του ηλεκτροδίου. Πρόσφατα, το ενδιαφέρον έχει μεταφερθεί στην μελέτη καλά ελεγχόμενων πολυμερών νανოსύνθετων και της εφαρμογής τους ως υλικά ηλεκτροδίων.



Εικόνα 9. Ύφες από ακατέργαστο γραφίτη (αριστερά), και από γραφίτη που έχει κατεργαστεί με νανοκαλώδια άνθρακα (δεξιά) (Μικρογραφία που λήφθηκε μέσα από ένα ΕΜΣ: Shen et. al. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/130185>)

5. Απόδοση των ΜΚΚ

Ως συνήθως, σε μια πηγή ρεύματος η διαθέσιμη ισχύς (P) μπορεί να υπολογιστεί από την διαφορά δυναμικού (ΔE) και το ηλεκτρικό ρεύμα (I), με βάση τη σχέση (4):

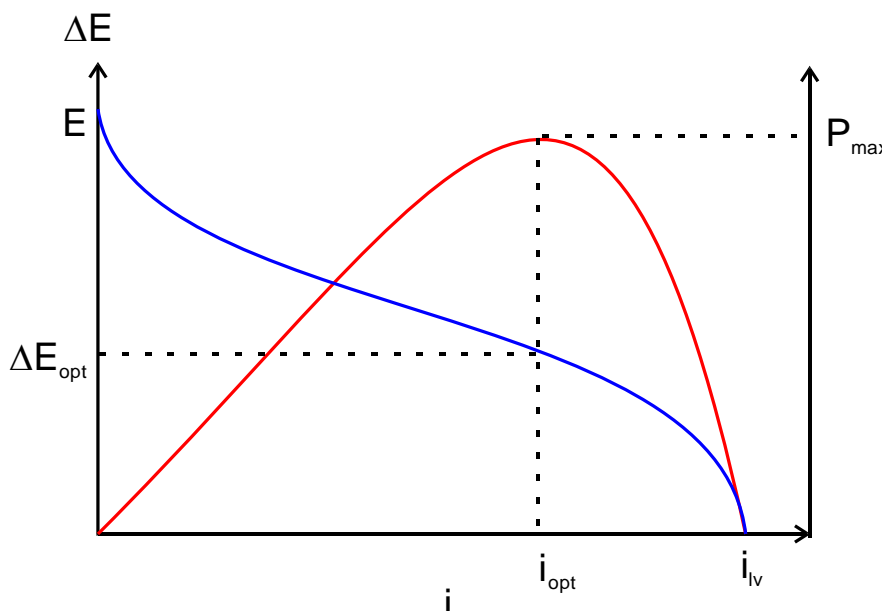
$$P = I \times \Delta E. \quad (4)$$

Το ηλεκτρικό ρεύμα, η διαφορά δυναμικού και η εξωτερική αντίσταση (R_{ext}) συνδέονται, όπως περιγράφει ο νόμος του $\Omega\mu$ – εξίσωση (5):

$$\Delta E = I \times R_{ext}. \quad (5)$$

Αν η εξωτερική αντίσταση ήταν άπειρη και δεν υπήρχε ηλεκτρικό ρεύμα, η διαφορά δυναμικού θα ισούταν με την ηλεκτρεγερτική δύναμη (E , η οποία είναι η ίδια για ένα ανοιχτό κύκλωμα) της πηγής ρεύματος. Αντίστοιχα, αν δεν υπάρχει αντίσταση (βραχυκύκλωμα, $\Delta E = 0$), το ηλεκτρικό ρεύμα

ισούται με το ρεύμα βραχυκύκλωσης (I_{lv}). Η σχέση ανάμεσα στο ηλεκτρικό ρεύμα (ή για να είμαστε πιο ακριβείς, για την πυκνότητα ρεύματος) και στη διαφορά δυναμικού περιγράφεται από την καμπύλη πόλωσης (δείτε εικόνα 10), όπου μπορείτε να δείτε την ηλεκτρεγερτική δύναμη και το ρεύμα βραχυκύκλωσης. Τόσο η βέλτιστη πυκνότητα ρεύματος (I_{opt}) όσο και η βέλτιστη διαφορά δυναμικού (ΔE_{opt}) που χρειάζονται για την λειτουργία της MKK μπορούν να εξαχθούν από την μέγιστη ισχύ (ή αλλιώς με την πυκνότητα ισχύος).



Σχήμα 10. Τυπική καμπύλη πόλωσης της MKK (μπλε) και η αντίστοιχη καμπύλη ισχύος (κόκκινο)

Η ιδανική συμπεριφορά της MKK εξαρτάται από την φύση της ηλεκτροχημικής διαδικασίας που συμβαίνει ανάμεσα στο οργανικό υλικό και τον τελικό λήπτη (τυπικά οξυγόνο). Περίπου 50-90% της ενέργειας που παράγεται μέσω της οξειδωσης των οργανικών θρεπτικών μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό από τη MKK: η υπόλοιπη δαπανάται στην ανάπτυξη των μικροοργανισμών.

Η πραγματική τελική τάση από τα ηλεκτρόδια είναι μικρότερη από αυτήν την ιδανική εκτίμηση, επειδή οι MKK έχουν τουλάχιστον τρεις τύπους ενεργειακών απωλειών. Η πρώτη – πόλωση ενεργοποίησης-παίζει ένα σημαντικό ρόλο στις χαμηλές εντάσεις ρεύματος και σχετίζεται με την ενέργεια ενεργοποίησης, η οποία πρέπει να ξεπεραστεί για να έχουμε μια αντίδραση. Αυτό συμπεριλαμβάνει την απορρόφηση των υλικών στην αρχή, αποβολή των προϊόντων και το ενεργειακό φράγμα για μεταφορά ηλεκτρονίων – όλα αυτά με τη σειρά τους εξαρτώνται από την επιφάνεια και τις ιδιότητες της επιφάνειας του ηλεκτροδίου, αλλά και στον μικροοργανισμό που χρησιμοποιήθηκε και σε άλλες παραμέτρους. Όταν εφαρμόζονται μεγαλύτερες τάσεις, η ωμική αντίσταση αρχίζει να παίζει ρόλο στην απώλεια ενέργειας που οφείλεται στην περιορισμένη ηλεκτρονική και ιοντική αγωγιμότητα στις διάφορες περιοχές της MKK (μεμβράνη, ηλεκτρολύτης κá). Ο σχεδιασμός της MKK παίζει σημαντικό ρόλο στην ελάττωση της ωμικής αντίστασης: ηλεκτρολύτες και μεμβράνες με καλή αγωγιμότητα θα πρέπει να προτιμηθούν και η απόσταση ανάμεσα στα ηλεκτρόδια θα πρέπει να κρατηθεί σε μια ελάχιστη τιμή. Στις μεγαλύτερες πυκνότητες φορτίου, η πόλωση συγκέντρωσης γίνεται ο κυρίαρχος παράγοντας στην ελάττωση της απόδοσης, λόγω της μείωσης στον αριθμό διαθέσιμων θρεπτικών λόγω των γενικών δυσκολιών που βρίσκουμε στην συγκέντρωση θρεπτικών. Η μίξη – είτε μηχανική είτε με χρήση φυσσαλιδών αερίου – καθώς και ο έξυπνος σχεδιασμός των MKK βοηθά στην καταπολέμηση αυτών των απωλειών. Τα περισσότερα πειράματα με MKK έχουν γίνει σε εργαστηριακό επίπεδο, χρησιμοποιώντας σχετικά μικροσκοπικές συσκευές. Τα πειράματα έχουν δείξει ότι η απλή κατασκευή μιας μεγαλύτερης MKK δεν είναι αρκετή για την αύξηση της ισχύος: θα οδηγήσει σε μείωση

της απόδοσης (κυρίως ως προς την πυκνότητα ενέργειας). Καλύτερα αποτελέσματα έχουν επιτευχθεί μέσω της σύνδεσης αρκετών μικρότερων MKK – τόσο σε σειρά όσο και παράλληλα – ώστε να αυξηθεί η τάση εξόδου και η ισχύς αντίστοιχα.

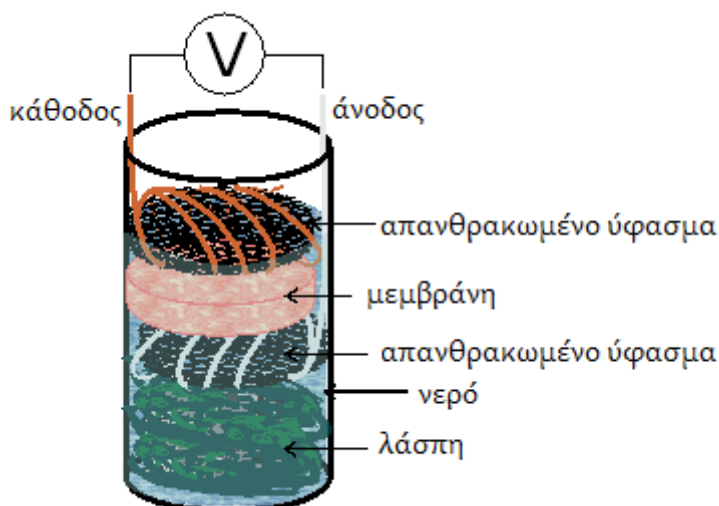
6. Κατασκευάζοντας μια χειροποίητη MKK

Ο καθένας μπορεί να κατασκευάσει μια MKK με διαθέσιμα απλά υλικά και σχετικά μικρό κόπο. Φυσικά, μια τέτοια συσκευή δεν θα αποτελέσει κορυφαίο επιστημονικό επίτευγμα, αλλά η κατασκευή της θα είναι μια παιδαγωγική και διασκεδαστική εμπειρία. Μπορείτε να βρείτε αρκετά έτοιμα πακέτα (π.χ εδώ: <http://www.mudwatt.com/products/mudwatt?variant=766869483>) και οδηγίες στο διαδίκτυο. Ακολουθεί ένας από τους τρόπους να χρησιμοποιήσετε την δική σας MKK χρησιμοποιώντας καθημερινά υλικά.

Για να κατασκευάσετε την δική σας MKK, θα χρειαστείτε τα παρακάτω υλικά:

- Λάσπη – ο ευκολότερος τρόπος να την συλλέξετε είναι από τον πυθμένα μιας λίμνης ή άλλου σώματος νερού. Η λάσπη θα πρέπει να έχει την λιγότερη δυνατή έκθεση στον αέρα για να διατηρήσει τα αναερόβια βακτήριά της.
- Ένα δοχείο – ένα τυπικό στρογγυλό κουτί με ικανοποιητική διάμετρο θα είναι αρκετό.
- Ηλεκτρόδια – μπορείτε να κατασκευάσετε ηλεκτρόδια με μεγάλες ειδικές επιφάνειες από απανθρακωμένο πανί. Τοποθετήστε κομμάτια βαμβακερού υφάσματος (το ντενίμ είναι καλό υλικό) σε ένα μεταλλικό κουτί με μικρό άνοιγμα. Θερμάνετε το κουτί σε μια φλόγα ή με κάρβουνο μέχρι να μην βγαίνει πλέον καπνός από το κουτί. Αφήστε το να ψυχθεί. Πάρτε τα κομμάτια του απανθρακωμένου υφάσματος έξω από το κουτί. Αν είναι δυνατόν, μετρήστε την αντίσταση του καμμένου πανιού με ένα πολύμετρο. Αν η αντίσταση είναι λιγότερη από 200 Ω ανα cm, το υλικό είναι κατάλληλο. Αν όχι, η καύση θα πρέπει να επαναληφθεί. Η κατασκευή των ηλεκτροδίων απαιτεί την περιτύλιξη δύο κομματιών απανθρακωμένου πανιού σε ένα μεταλλικό πλέγμα ή την συστροφή ενός λεπτού σύρματος γύρω τους (κατα προτίμηση όχι χάλκινου σύρματος το οποίο είναι τοξικό για πολλά βακτήρια).
- Μια μεμβράνη – μπορείτε να φτιάξετε μια απλή μεμβράνη από επιτραπέζιο αλάτι, νερό και ζελατίνη. Πάρτε 75g αλατιού και 5g ζελατίνης για 200 ml νερού. Ανακατέψτε τα μαζί και βράστε τα. Χύστε το μείγμα σε ένα δοχείο με απαλή επιάνεια (ιδανικά του ίδιου σχήματος και διαμέτρου όπως αυτό που χρησιμοποιήσατε για την κατασκευή της MKK). Αφήστε το να κρυώσει, κατα προτίμηση στο ψυγείο.

Για την κατασκευή της MKK, ρίξτε τη λάσπη στο δοχείο και βυθίστε ένα από τα ηλεκτρόδια (την άνοδο) στην λάσπη ώστε το ένα άκρο από το υπόλοιπο καλώδιο να βγαίνει έξω από το δοχείο. Καλύψτε τη λάσπη με τη μεμβράνη. Τοποθετήστε το άλλο ηλεκτρόδιο (κάθοδο) πάνω από τη μεμβράνη ώστε το ένα άκρο του να προεξέχει από το δοχείο. Ρίξτε λίγο νερό στη μεμβράνη ώστε η μισή κάθοδος να βρίσκεται έξω από το νερό. Η MKK σας είναι έτοιμη (δείτε την εικόνα 11)! Μπορείτε να μετρήσετε την τάση εξόδου που παράγεται από την MKK σας συνδέοντας ένα βολτόμετρο με τα δύο άκρα των συρμάτων. Καταγράψτε την μέτρησή σας. Η τάση θα πρέπει να αυξηθεί σε μερικές ημέρες ή εβδομάδες λόγω της βακτηριακής αύξησης και της προσκόλλησης στην άνοδο. Αν είναι δυνατόν, συνδέστε μια αντίσταση ανάμεσα στα άκρα της MKK για τον χρόνο της βακτηριακής αύξησης, για παράδειγμα από 100 Ω έως 1 kΩ.



Σχήμα 11: χειροποίητη ΜΚΚ

Έννοιες στον Σταθμό Μάθησης XII

Ολοκληρώστε προσθέτοντας της έννοιες που λείπουν

Σε αυτόν τον σταθμό μάθησης δεν διαχωρίζουμε σε κλασσικές και κβαντικές έννοιες. Οι κύριες έννοιες δεν ανήκουν μόνο στο πεδίο της φυσικής αλλά και σε διάφορες ειδικότητες και έχουμε την δημιουργία ενός συνδέσμου μεταξύ της κβαντικής μηχανικής και άλλων επιστημονικών περιοχών, όπως η βιολογία και η χημεία.

Όταν οξειδώνουμε οργανική ύλη, οι μικροοργανισμοί ελευθερώνουν που, στις ΜΚΚ, δεσμεύονται από το ηλεκτρόδιο (άνοδο) από το οποίο μεταφέρονται σε εξωτερικό κύκλωμα, κάνοντας έτσι δυνατή την ενέργεια να χρησιμοποιηθεί για να ενεργοποιηθεί μια ηλεκτρική συσκευή.

Για την λήψη ενέργειας, οι μικροοργανισμοί χρειάζονται που θα δεχθεί τα ηλεκτρόνια που παράγονται στην διαδικασία οξείδωσης. Ως λήπτη μπορούν να χρησιμοποιήσουν αρκετά τα οποία επιτρέπουν στα βακτήρια να κατοικήσουν σε περιβάλλοντα (συμπεριλαμβάνοντας και αναερόβια περιβάλλοντα) που είναι απαγορευτικά για υψηλότερης πολυπλοκότητας οργανισμούς.

Ελλείπει αρκετών ληπτών ηλεκτρονίων, τα βακτήρια μπορούν επίσης να λάβουν ενέργεια μέσω, η οποία είναι πολύ λιγότερο αποτελεσματική από

Στις ΜΚΚ τα βακτήρια έχουν πολύ μικρές πιθανότητες να βρουν κατάλληλο Για να μπορούν ακόμη να χρησιμοποιήσουν την αναπνοή για την λήψη ενέργειας, τα βακτήρια χρησιμοποιούν έναν εξωκυτταρικό λήπτη ηλεκτρονίων - ένα Τα βακτήρια έχουν αναπτύξει διάφορες στρατηγικές για μεταφορά ηλεκτρονίων στην άνοδο.

Ως μία πιθανή στρατηγική για απόδοση ηλεκτρονίων, μερικά ηλεκτροχημικά ενεργά βακτήρια αναπτύσσουν, εκ των οποίων μεταφέρονται τα ηλεκτρόνια. Τέτοια βακτηριακά νανοκαλώδια μπορούν να μεταφέρουν το ηλεκτρόνιο απευθείας στο ηλεκτρόδιο, αλλά και στο, το οποίο θα μεταφέρει το ηλεκτρόνιο παραπέρα.

Μία άλλη στρατηγική βασίζεται στην παραγωγή ή χρήση υπαρχόντων με καθορισμένες ιδιότητες για μεταφορά ηλεκτρονίων στον λήπτη.

Η ενέργεια που παράγεται από τις ΜΚΚ βασίζεται άμεσα στο εμβαδό των ηλεκτροδίων τους. Καθ'ότι η κατασκευή συσκευών με γιγαντιαία ηλεκτρόδια είναι προφανώς μη πρακτική, τα ηλεκτρόδια θα πρέπει να χτίζονται από υλικά με Διάφορα υλικά από άνθρακα με μεγάλες ειδικές επιφάνειες χρησιμοποιούνται στις ανόδους των ΜΚΚ και η ειδική επιφάνεια των μικροδομών των κυρίων υλικών συνήθως αυξάνεται και οι ιδιότητές της βελτιώνονται μέσω πρόσθετων ή από βελτιώσεις.