





« Αναδυόμενες Τεχνολογίες Παραγωγής Ενέργειας Χρησιμοποιώντας Δισδιάστατα Νανοϋλικά »

Διπλωματική Εργασία

Γεώργιος Λέκκας

Επιβλέπων Καθηγητής :Εμμανουήλ Κυμάκης ,Καθηγητής

Ηράκλειο,2021

Περιεχόμενα

1) Περίληψη……(σελ.4)

2) Abstract……..(σελ.5)

3) Εισαγωγή……(σελ.6)

4) Η Νανοτεχνολογία και οι Εφαρμογές της……..(σελ.7)

5) Το Γραφένιο……...(σελ.9)
- Μια μικρή Εισαγωγή για το Γραφένιο
- Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα του Γραφενίου

6) Ενέργεια από Νερό……..(σελ.12)
- Η μέθοδος της Παρατεταμένης-Πίεσης Ώσμωσης (**Pressure-Retarded-Osmosis**, **PRO**)
- Αντίστροφη Ηλεκτροδιάλυση (**Reverse-Electrodialysis** , **RED**)

7) Μηχανική Ενέργεια……..(σελ.20)
- Τριβοηλεκτρική Νανογεννήτρια με βάση το Νερό (**TriboElectric NanoGenerator-TENG/L-TENG**)

8) Ηλιακή Ενέργεια……..(σελ.26)
- Ηλιακά Κύτταρα από Γραφένιο
- **Dye-Sensitized Solar-Cells** , (**DSSCs**)
- **Perovskite-Solar-Cell** , (**PSC**)

9) Ενέργεια από άλλες Μορφές Μετατροπής Ενέργειας……..(σελ.33)

- Παραγωγή Υγρού-Ηλεκτρικού Ρεύματος (**Moist-Electric-Generation , MEG**)
- Δισδιάστατη (**2D**) μεμβράνη με βάση το Γραφένιο για **MEG** (**Moist-Electric-Generation**)
- Διαδικασία Ηλεκτρικής Ανόπτησης Υγρασίας (**Moisture-electric-Annealing , MeA**)
- Τρισδιάστατη (3D) μεμβράνη με βάση το Γραφένιο για **MEG** (**Moist-Electric-Generation**)

10)Συμπεράσματα……...(σελ.41)

11) Βιβλιογραφία…….(σελ.42)

Περίληψη

Η Νανοτεχνολογία είναι από τα πιο καινοτόμα πεδία εφαρμογής της μηχανικής αφού οι δομές που χρησιμοποιεί είναι τόσο μικρές που συχνά έχουν το μέγεθος ενός μορίου και μελετώνται και οι ακόμη πιο μικρές που μπορεί να έχουν το μέγεθος ενός ατόμου.

Επίσης εμφανίζουν ιδιότητες οι οποίες είναι τελείως διαφορετικές από τις μέχρι τώρα συνηθισμένες μακροσκοπικές εφαρμογές καθώς είναι κβαντικής φύσης. Ακριβώς λόγω των ιδιοτήτων και του μεγέθους τους επιχειρείται η χρησιμοποίηση τους σε πολλαπλές επιλογές και εφαρμογές ανάμεσα στις οποίες είναι και η ενέργεια.

Χαρακτηριστικό είναι ότι τα τελευταία χρόνια έχει χρησιμοποιηθεί σε καινοτόμες μεθόδους παραγωγής ενέργειας όπως είναι η ενέργεια από νερό ,η ηλιακή ενέργεια , η μηχανική ενέργεια καθώς και άλλες ποικίλες μορφές ενέργειας.

Λέξεις κλειδιά: Νανοτεχνολογία , ενέργεια , ενέργεια από νερό, ηλιακή ενέργεια , μηχανική ενέργεια.

Abstract

Nanotechnology is one of the most innovative fields of application of engineering since the structures it uses are so small that they often have the size of a molecule and even smaller ones are being studied that can be the size of an atom. They also show properties that are completely different from the usual macroscopic applications as they are of a quantum nature. Precisely because of their properties and size, their use is attempted in multiple options and applications, among which is energy.

Typically in recent years it has been used in innovative energy production methods such as water energy, solar energy, mechanical energy and other various forms energies.

Keywords: Nanotechnology, energy, water energy, solar energy, mechanical energy.

Εισαγωγή

Ως Νανοτεχνολογία είναι το πεδίο των εφαρμογών της μηχανικής που χρησιμοποιεί δομές μεγέθους μορίου. Η κλίμακα μέτρησης των δομών αυτών είναι η νανοκλίμακα και αποδίδει τα μεγέθη τους σε νανόμετρα (**nm**) , δηλαδή σε πολλαπλάσια του ενός δισεκατομμυριοστού του μέτρου. Ως επί το πλείστων, στο πεδίο της νανοτεχνολογίας οι δομές ενδιαφέροντος συνήθως έχουν μέγεθος μικρότερο των 300nm.

Αν εξετάσουμε, η διατομή μιας ανθρώπινης τρίχας είναι περίπου 60.000nm, ενός μορίου DNA από 2 έως 2,5 nm και ενός μορίου νερού σχεδόν 0,3nm. Οι εφαρμογές της νανοτεχνολογίας περιλαμβάνουν το σχεδιασμό και την κατασκευή των υλικών στο επίπεδο του μορίου και του ατόμου, καθώς και τις ποικίλες εφαρμογές των υλικών αυτών. Στο επίπεδο της ύλης που την εξετάζει η νανοτεχνολογία, εμφανίζει ιδιότητες κβαντικής φύσεως, τελείως διαφορετικές από τις ιδιότητες των μακροσκοπικών μεγεθών που περιτριγυρίζουν τον άνθρωπο στην καθημερινότητα του. Ακόμα, η νανοτεχνολογία έχει χαρακτήρα διεπιστημονικό, αφού συνδυάζεται άριστα με τις υπόλοιπες επιστήμες των οποίων οι δομές που τις απαρτίζουν αριθμούνται και αυτές στην ίδια κλίμακα (νανοκλίμακα), όπως η κβαντική φυσική, η χημεία, η βιολογία, η πληροφορική και μικροηλεκτρονική .

Η εξέλιξη που προσφέρουν τα εργαλεία της νανοτεχνολογίας αφενός υπόσχονται να επιλύσουν πολλές παγκόσμιες προκλήσεις που απασχολούν τον άνθρωπο, όπως ζητήματα βιομηχανικής παραγωγής, προστασίας του περιβάλλοντος, επικοινωνίας και ιατρικής .

Τα Νανοϋλικά χρησιμοποιούνται σε πλήθος εφαρμογών εδώ και πολλά χρόνια, ενώ απαντούν και στη φύση. Για παράδειγμα, σε νέφη ηφαιστειακής τέφρας, στη θαλασσινή αύρα και στον καπνό της φωτιάς.
Με άλλα λόγια, τα νανοϋλικά δεν είναι ουσίες που παράγονται μόνο στο εργαστήριο. Ωστόσο, χάρη στην νανοτεχνολογία, ο άνθρωπος κατάφερε να δημιουργήσει υλικά που περιλαμβάνουν νανομορφές, τις οποίες παράγει ολοένα και περισσότερο, καθώς τα νανοϋλικά έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα που δεν έχουν οι ουσίες μεγαλύτερου μεγέθους.
Αν, για παράδειγμα, χρησιμοποιήσουμε νανοδιοξείδιο του τιτανίου ως επίχρισμα στις πλαστικές καρέκλες που έχουμε στον κήπο, θα αποκτήσουν αυτοκαθαριζόμενη επιφάνεια. Επάνω σε τέτοιου είδους επίχρισμα, το νερό δεν σχηματίζει σταγόνες αλλά μια μεμβράνη νερού που «παγιδεύει» τους ρύπους. Οι ρύποι θα διαλύονται μέσα στη μεμβράνη νερού και η επόμενη δυνατή βροχή θα τους απομακρύνει και θα καθαρίσει τις καρέκλες.
Ένα νανοϋλικό μπορεί να έχει διαφορετικές ιδιότητες από αυτές της ίδιας ουσίας στο κανονικό της μέγεθος. Αυτό σημαίνει ότι ένα υλικό θα μπορούσε να αλλάξει κατά τη μετατροπή από το κανονικό του μέγεθος σε νανομορφή , αλλά ο βαθμός στον οποίο συμβαίνει αυτό ποικίλλει ανάλογα με την ουσία. Αυτός είναι και ένας από τους λόγους για τον οποίο ήταν τόσο δύσκολο να προκύψει ένας αμοιβαία αποδεκτός ορισμός για τα νανοϋλικά.

Η Νανοτεχνολογία και οι Εφαρμογές της

Η Νανοτεχνολογία είναι εκείνη η οποία βασίζεται στη χρήση νανομέτρων τα οποία ονομάζονται νανοϋλικά και μελετώνται μέσω περίπλοκων απεικονιστικών διατάξεων δηλαδή των μικροσκοπίων μετάδοσης ηλεκτρονίων. Τα κυριότερα νανοϋλικά που χρησιμοποιούνται είναι εκείνα

που βασίζονται στον άνθρακα καθώς επίσης και στα δενδρομερή και τα σύνθετα υλικά. Ο πιο ραγδαία αναπτυσσόμενος τομέας της νανοτεχνολογίας είναι εκείνος της ηλεκτρονικής που αφορά την ανάπτυξη των επικοινωνιών και ισχυρών συστημάτων αποθήκευσης πληροφορίας, σε όλο και μικρότερα μεγέθη συστημάτων, υπολογιστικών καθώς και αισθητήρων. Η νανοηλεκτρονική έχει επεκταθεί σε διάφορους τομείς ανάμεσα στους οποίους είναι και οι ενεργειακές εφαρμογές οι οποίες συνήθως χρησιμοποιούνται σε τομείς παραγωγής, αποθήκευσης και εξοικονόμησης ενέργειας και σε όλες τις εξειδικευμένες εφαρμογές αυτών. Από τις πιο καινοτόμες περιοχές εφαρμογής των νανοϋλικών είναι η παραγωγή ενέργειας από νερό, από μηχανική ενέργεια, την ηλιακή ενέργεια και κάποιες άλλες μορφές που θα παρατεθούν στην παρούσα εργασία.



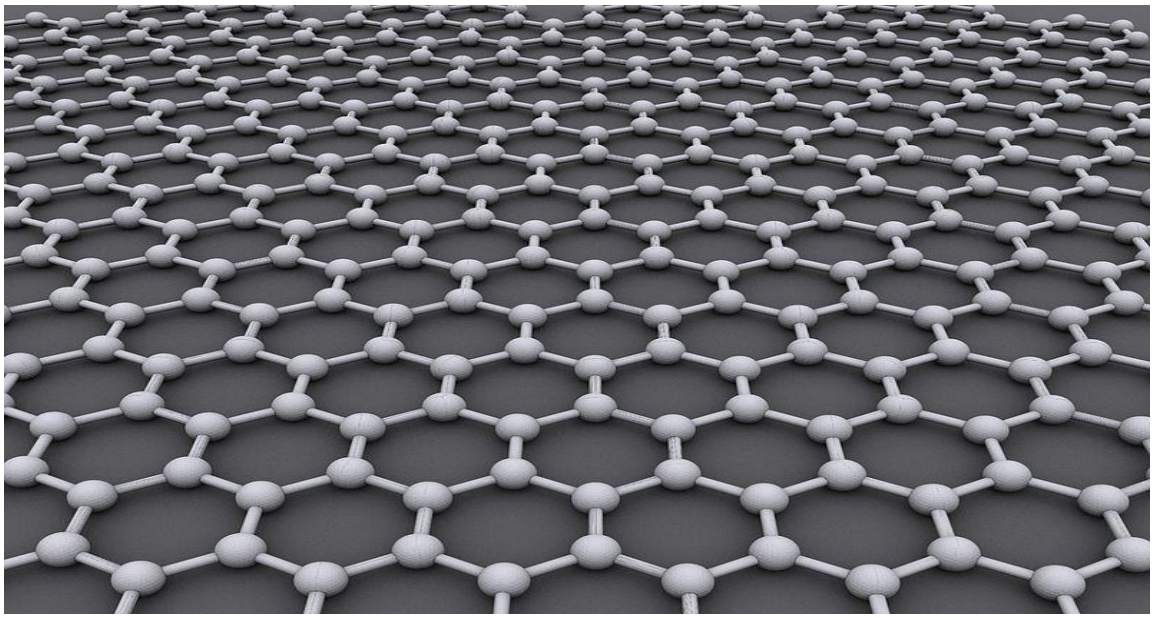
Εικόνα 1. Διάφορες Εφαρμογές της **Νανοτεχνολογίας**

Το Γραφένιο

Το Γραφένιο μια νέα μορφή του άνθρακα, συνιστά επανάσταση για μια ποικιλία εφαρμογών. Τη σχετική ανακάλυψη έκαναν οι Andre Geim και ο Konstantin Novoselov στο Πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ που κατάφεραν να εξάγουν μονατομικούς πάχους κρυσταλλίτες (γραφένιο) από ακατέργαστο γραφίτη (παρόμοιο με αυτό που υπάρχει στα συνηθισμένα μολύβια) το 2004. Οι ανωτέρω ερευνητές εξήγαγαν φύλλα γραφενίου από γραφίτη και τα μετέφεραν σε λεπτό φύλλο διοξείδιο του πυριτίου πάνω σε δίσκο πυριτίου επιτυγχάνοντας τη διαδικασία που αποκαλείται μικρομηχανική διάσπαση. Το διοξείδιο του πυριτίου απομονωμένο ηλεκτρικά από το γραφένιο, αλληλοεπίδρασε μερικώς με το γραφένιο, παρέχοντας του στρώματα ουδέτερα φορτισμένα. Η τεχνική της μικρομηχανικής διάσπασης κατέληξε άμεσα στην πρώτη παρατήρηση του ανώμαλου κβαντικού φαινομένου στο γραφένιο. Ακολούθως, οι φυσικοί από το Πανεπιστήμιο του Μάντσεστερ και ειδικότερα από το Ινστιτούτο Μικροηλεκτρονικής Τεχνολογίας στην Chernogolovka της Ρωσίας προέβησαν στη μέτρηση των ηλεκτρονικών ιδιοτήτων των νιφάδων του γραφενίου που λαμβάνονται και οι ενδείξεις που προέκυψαν αποδείχθηκε ότι είχαν υψηλότατη ποιότητα. Η εργασία των δύο επιστημόνων αποδείχθηκε τόσο καινοτόμα και ριζοσπαστική που η Σουηδική Ακαδημία Επιστημών απένειμε το Νόμπελ Φυσικής για το 2010 στους δύο Ρώσους φυσικούς σχετικά με το δισδιάστατο γραφένιο.

Το Γραφένιο είναι το ελαφρύτερο στερεό υλικό του κόσμου, του οποίου η πυκνότητα είναι μικρότερη και αυτής του αερίου του ήλιου, αποδίδοντας του εντυπωσιακές ιδιότητες. Το γραφένιο , συνιστά μια μορφή άνθρακα που θεωρείται συγγενική με το γραφίτη. Ακριβέστερα, αποτελείται από φύλλα άνθρακα τα οποία έχουν πάχος ενός μόλις ατόμου. Εξαιτίας της δισδιάστατης κρυσταλλικής δομή του, το γραφένιο είναι πιο ανθεκτικό

από το ατσάλι, ενώ από την άλλη πλευρά είναι εύκαμπτο σαν λάστιχο. Περαιτέρω, πρόκειται για ένα υλικό , του οποίου η μορφή δύναται να μεταβληθεί με άπειρους τρόπους, η πληθώρα των οποίων ακόμη διερευνάται από τους επιστήμονες. Ωστόσο οι εφαρμογές τους αναμένεται να είναι τόσο πολυποίκιλες που θα αποτελέσουν κομμάτι της ζωής μας.



Εικόνα 2. Το **Γραφένιο** είναι ένα κρυσταλλικό πλέγμα ατόμων άνθρακα σε κυψελωτή δισδιάστατη (**2D**) διάταξη.

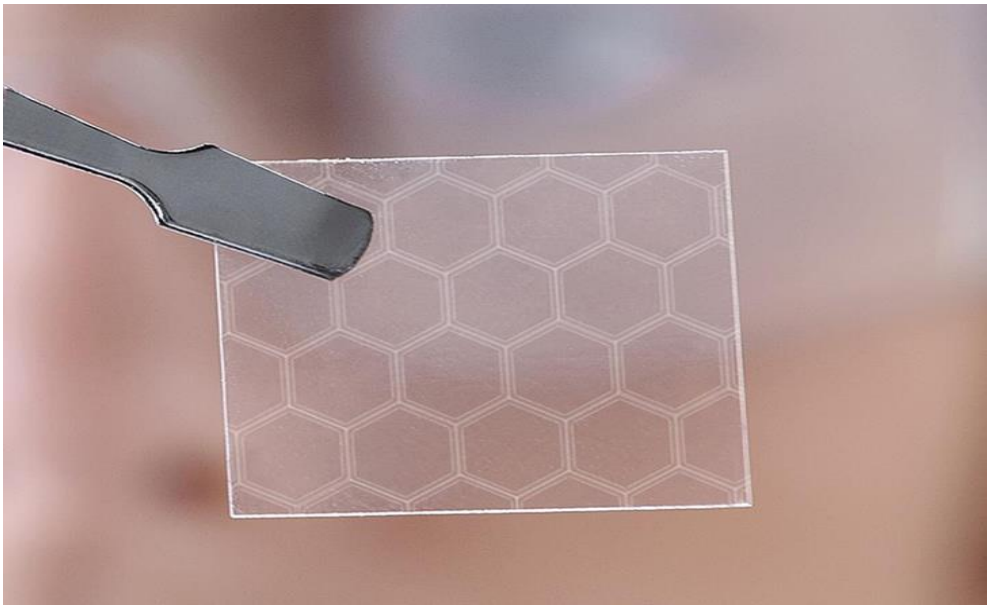
Επιπλέον, το Γραφένιο λόγω των ιδιοτήτων του, χρησιμοποιείται ευρέως στη συνεχή έρευνα από το σύνολο της επιστημονικής κοινότητας, για την δημιουργία νέων εφαρμογών, που θα χρησιμοποιηθούν ακόμη και σε μελλοντικές ηλεκτρονικές συσκευές που θα βασίζονται το τρανζίστορ γραφενίου για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Περαιτέρω , αναμένεται μια νέα γενιά φωτοβολταϊκών κυψελών να χρησιμοποιεί το γραφένιο με μικρότερο κόστος και μεγαλύτερη απόδοση.
Τέλος, το Γραφένιο αναμένεται να συνδράμει στη λύση του προβλήματος των επιδόσεων των επαναφορτιζόμενων μπαταριών, που έχουν καταστεί αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητάς.

Τα Πλεονεκτήματα του Γραφενίου :

- Το λεπτότερο και ισχυρότερο υλικό που είναι γνωστό.
- Εξαιρετικός αγωγός θερμότητας και ηλεκτρισμού.
- Αποτελεσματικό εμπόδιο κατά της υγρασίας.
- Έχει ηλεκτρική αγωγιμότητα παρόμοια με το χαλκό.
- Η πυκνότητα του είναι τετραπλάσια από τον χαλκό.
- Έχει θερμική αγωγιμότητα πενταπλάσια από εκείνη του χαλκού.
- Έχει χαμηλότερη πυκνότητα από τον χάλυβα, αλλά μπορεί να είναι έως και 50 φορές ισχυρότερη.

Τα Μειονεκτήματα του Γραφενίου :

- Εξαιρετικός αγωγός ηλεκτρικής ενέργειας αλλά δεν έχει ενεργειακό χάσμα (band-gab δεν μπορεί να απενεργοποιηθεί).
- Ευαισθησία του στην οξειδωτική ατμόσφαιρα όταν χρησιμοποιείται ως καταλύτης.
- Επιδεικνύει μερικές τοξικές ιδιότητες.
- Οι οδοντωτές ακμές του γραφενίου μπορούν εύκολα να περάσουν από τις κυτταρικές μεμβράνες και να εισέλθουν στο κύτταρο και να διαταράξουν τις κανονικές λειτουργίες.



Εικόνα 3. Λεπτό στρώμα **Γραφενίου** στο μικροσκόπιο.

Ενέργεια από Νερό

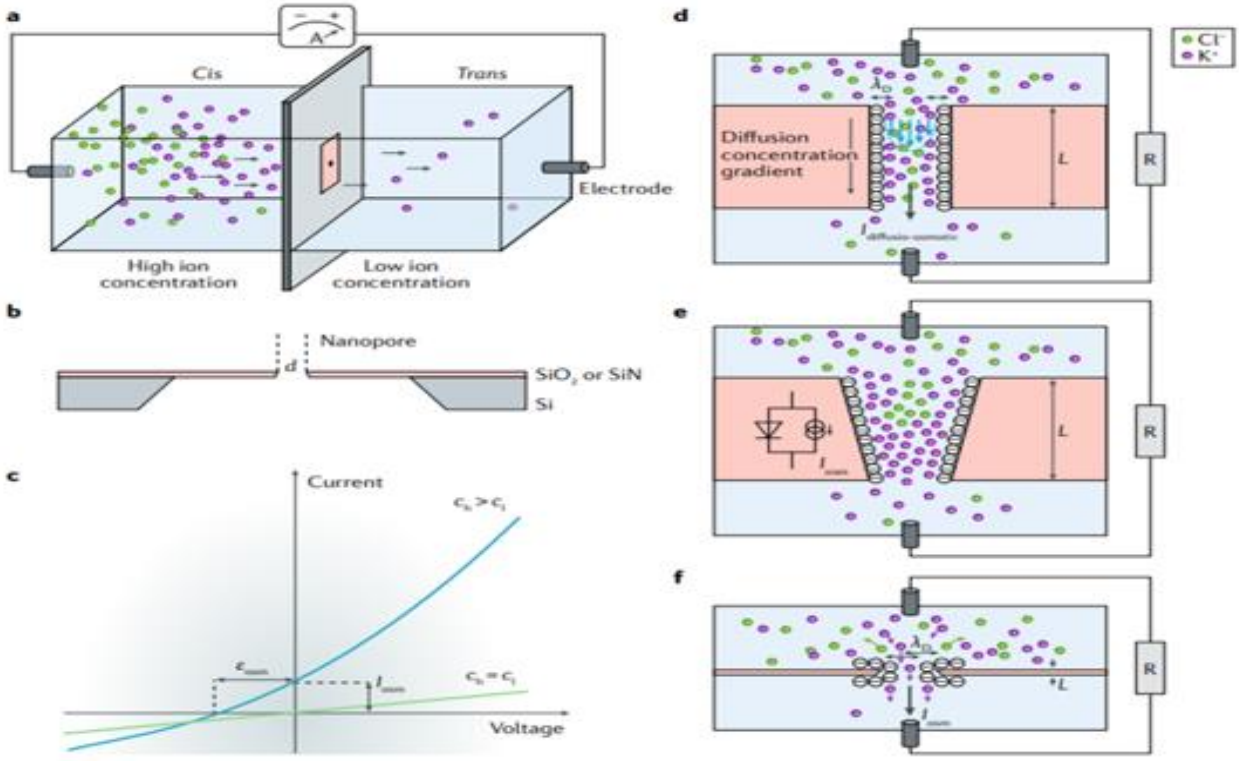
Η σύγχρονη κοινωνία, η βιομηχανία και η έρευνα απαιτούν πάντα αυξανόμενες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας. Με τη συνεχή μείωση ζήτησης προμήθειας ορυκτών καύσιμων για οικολογικούς λόγους και την πυρηνική ενέργεια να αντιμετωπίζεται αρνητικά από την κοινή γνώμη, οι ερευνητές στρέφουν την προσοχή τους στη δημιουργία αποτελεσματικών και βιώσιμων πηγών ενέργειας που θα μπορούσαν να είναι τόσο ασφαλείς όσο και οικολογικές .

Εκτός από την ηλιακή και την αιολική ενέργεια, ένας άλλος τύπος ενέργειας που είναι ιδιαίτερα ελκυστικός είναι εκείνος που παράγεται από νερό. Εκτός από τη γνωστή υδροηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από υδροηλεκτρικούς σταθμούς (φράγματα), επιστήμονες και μηχανικοί εξερευνούν την παλιρροιακή ενέργεια, η οποία εκμεταλλεύεται τα κύματα των ωκεανών μέσο της τριβής για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (με τριβοηλεκτρικά δίκτυα) και μπλε ενέργεια. Η τελευταία εκμεταλλεύεται τις βαθμίδες αλατότητας για τη συγκομιδή της λεγόμενης ωσμωτικής ενέργειας. Η μπλε ενέργεια (επίσης γνωστή ως ωσμωτική ή αλατότητα) η οποία είναι εκχυλίσιμη ενέργεια ελεύθερης ανάμιξης συμπυκνωμένου διαλύματος αλατιού με καθαρό νερό, είναι πολλά υποσχόμενη, επειδή η απόδοση συλλογής ενέργειας από ανάμιξη γλυκού νερού και θαλασσινού νερού εκτιμάται σε 3kJ/litro , που ισοδυναμεί με 0,8kWh/m^3 και θα μπορούσε συγκαταλεχθεί στις μελλοντικές παραγωγές ενέργειας.

Η γενική εκτίμηση σε παγκόσμιο δυναμικό φτάνει σε πηγή ενέργειας έως και χιλιάδες TWh (τεραβατόρες) , με το δυνατό πρόσθετο όφελος από την ολοκλήρωση της αφαλάτωσης του νερού. Δεδομένης της ποσότητας γλυκού νερού και αλμυρού νερού η ανάμιξη ισότοπων στον πλανήτη μας (τόσο φυσικών όσο και ανθρωπογενών, όπως άλμη και λύματα), παρέχουν

ένα τεράστιο δυναμικό για την ανάπτυξη μιας νέας, οικολογικής και άφθονης πηγής ενέργειας.

Ωστόσο, οι τρέχουσες πρωτότυπες υλοποιήσεις παραγωγής ωσμωτικής ενέργειας δίνουν μια παραγωγή ενέργειας στην περιοχή 1-5 W/m^2, που δεν είναι αρκετή για την τροφοδοσία συσκευών στον πραγματικό κόσμο.



Εικόνα 4. Τυπικές συσκευές **Νανοπόρων** στερεάς κατάστασης.

a) Μια λεπτή μεμβράνη τοποθετείται μεταξύ δύο δεξαμενών με κλίση οι οποίες περιέχουν αλάτι και συνδέονται μέσω ηλεκτροδίου **Ag / AgCl** (**Ag**- Άργυρος, **Cl** –Χλώριο)

b) Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη σχεδίαση αποτελείται από χαραγμένη, ανεξάρτητη πορώδες μεμβράνη είτε **SiN** είτε **SiO_2** (**Si**-πυρίτιο, **N**-άζωτο, **O**-οξυγόνο) οι οποίες μπορούν επίσης να δράσουν, σε πιο πολύπλοκα

πειράματα, ως υποστηρικτικό παράθυρο για αναστολή μονατομικών στρωμάτων επίπεδων υλικών με νανοπόρους.

c) Τυπικές μετρούμενες καμπύλες ρεύματος - τάσης χωρίς ωσμωτική κλίση (πράσινη καμπύλη) και κάτω από μια ωσμωτική κλίση (μπλε καμπύλη)

d) Διαφορετικοί τρόποι απόκτησης ηλεκτρικής ενέργειας: ένα καθεστώς με κλίση αλατότητας.

e) Διάχυση ωσμωτικής ροής, με την ταχύτητα μέσα στο κανάλι να παρασύρει μια ασύμμετρη διατομή νανοπόρων.

f) Η οποία μπορεί να οδηγήσει σε μια ιοντική συμπεριφορά διόρθωσης σε μια επίπεδη (**2D**) μεμβράνη.

Υπάρχουν δύο γενικές προσεγγίσεις για τη συγκομιδή ενέργειας από το νερό με τη χρήση ειδικών μεμβρανών. Η διαδικασία ώσμωσης υπό την πίεση χρησιμοποιεί μια μεμβράνη διαπερατή μόνο στο νερό για την μετακίνηση του νερού μεταξύ μιας δεξαμενής αλμυρού και γλυκού νερού για να μειωθεί η συγκέντρωση του αλατιού (και να αυξηθεί η εντροπία), παράγοντας ωσμωτική πίεση που οδηγεί μια τουρμπίνα και επομένως, παράγει ισχύ. Δοκιμάστηκαν αρκετές υλοποιήσεις σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, αλλά καμία δεν είχε επαρκή περιθώρια κέρδους, δίνοντας ένα μέγιστο $\sim 5 W/m^2$ παραγόμενης ισχύος.

Η μέθοδος της **Παρατεταμένης-Πίεσης Ώσμωσης (Pressure-Retarded-Osmosis, PRO)** εξάγει ενέργεια όταν δυο διαλύματα με διαφορετικές τιμές αλατότητας (συνήθως το νερό του ποταμού με το θαλασσινό νερό) διαχωρίζονται από μια ημι-διαπερατή μεμβράνη, η οποία αποτελείται από πορώδες στρώμα με μικρές οπές. Η μεμβράνη επιτρέπει μικρά μόρια, όπως τα μόρια του νερού, να διαπεράσουν μέσω αυτής. Τα μόρια άλατος, άμμου,

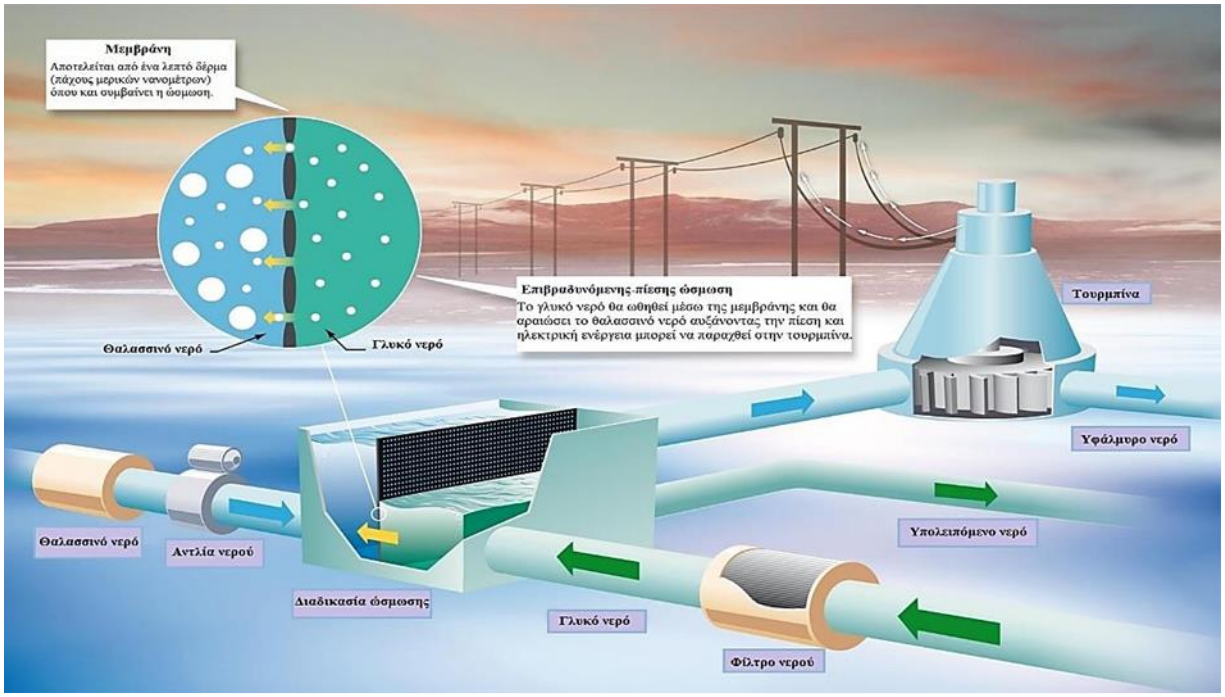
λάσπης και άλλες προσμείξεις δεν μπορούν να διαπεράσουν στην αντίθετη πλευρά της μεμβράνης. Το νερό επιδιώκει να μειώσει την συγκέντρωση άλατος στην πλευρά της μεμβράνης που περιέχει το περισσότερο αλάτι. Το νερό για αυτό τον λόγο ρέει δια μέσω της μεμβράνης και αυξάνει την πίεση στην πλευρά του θαλασσινού νερού. Η πίεση αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας με την κίνηση υδροστρόβιλου παράγοντας ηλεκτρισμό.

Το γλυκό νερό εισέρχεται στη μονάδα και φιλτράρεται πριν καταλήξει στη μεμβράνη. Το 80-90% του γλυκού νερού μεταφέρεται δια μέσω της μεμβράνης, εξαιτίας του φαινομένου της ώσμωσης, στην πλευρά της μεμβράνης που περιέχει θαλασσινό νερό σε υψηλότερη πίεση. Το φαινόμενο της ώσμωσης αυξάνει την ογκομετρική ροή του νερού με υψηλή πίεση με αποτέλεσμα την παραγωγή ενέργειας με την περιστροφή τουρμπίνας. Το θαλασσινό νερό αντλείται από τη θάλασσα και φιλτράρεται πριν τροφοδοτηθεί στη πλευρά της μεμβράνης όπου καταλήγει και το γλυκό νερό από το φαινόμενο της ώσμωσης. Για την επίτευξη μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας η πίεση λειτουργίας θα πρέπει να είναι από 11 έως 15 bars.

Εκτιμάται ότι αυτό το είδος ανανεώσιμης ενέργειας έχει τη δυνατότητα από την ανάμειξη του γλυκού με του θαλασσινού νερού στις εκβολές να παράγει 1650 TWh το χρόνο παγκοσμίως, δηλαδή περίπου το 13% της τωρινής παγκόσμιας καταναλωμένης ενέργειας.

Η παραγωγή ενέργειας από **PRO** έχει υψηλή απόδοση και έχει παραγωγική ικανότητα λειτουργίας περισσότερη από 7000 ώρες το χρόνο. Παρά τις δυνατότητες, η ανάπτυξη ωσμωτικής μονάδας έχει εμποδιστεί από την έλλειψη μεμβράνης με υψηλή απόδοση για την διαδικασία **PRO** και σε χαμηλή τιμή. Η χρησιμοποίηση εμπορικά διαθέσιμων μεμβρανών που χρησιμοποιούνται για εφαρμογές αφαλάτωσης είναι μη αποδοτικές παράγοντας λίγη ενέργεια. Για να θεωρηθεί ανταγωνιστική με οικονομικά

κριτήρια η ωσμωτική μονάδα έναντι των άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας πρέπει η πυκνότητα ενέργειας της μεμβράνης να είναι τουλάχιστον 5W/m^2. Προς το παρόν, καμία μεμβράνη δεν έχει ξεπεράσει τα 3.5W/m^2 πυκνότητα ενέργειας με χρήση γλυκού και θαλασσινού νερού.



Εικόνα 5. Απλοποιημένο διάγραμμα μονάδας **PRO**.

Η δεύτερη, πολλά υποσχόμενη προσέγγιση για την αναβάθμιση της παραγωγής ενέργειας είναι η συλλογή ωσμωτικής ενέργειας με **Αντίστροφη Ηλεκτροδιάλυση (RED=Reverse-Electrodialysis)**. Σε αυτήν την περίπτωση, μια επιλεκτική ιοντική μεμβράνη χρησιμοποιείται μεταξύ της δεξαμενής αλμυρού και γλυκού νερού με ελάχιστη ροή νερού. Λόγω της επιλεκτικότητας των ιόντων της μεμβράνης, το ρεύμα ενός τύπου ιόντος είναι μεγαλύτερο, παράγοντας μια ουδετερότητα φορτίου μεταξύ των δεξαμενών που μπορεί να αξιοποιηθεί ως μπαταρία.



Εικόνα 6. Σχηματική απεικόνιση Αντίστροφης Ηλεκτροδιάλυσης (**RED**).

Το κύριο εμπόδιο των δυο αυτών τεχνολογιών βρίσκεται στη χαμηλή εφικτή πυκνότητα ισχύος και στο υψηλό κόστος ενέργειας στην προ επεξεργασία του νερού (για την απομάκρυνση σωματιδίων και μόλυνσης που μπορεί να φράξει τη μεμβράνη) και την άντληση, καθώς και την εγγενή ανταλλαγή μεταξύ ενέργειας απόδοσης συγκομιδής και επιτεύξιμη παραγωγή ισχύος. Η πρακτική χρησιμότητα αυτών των τεχνολογιών απαιτεί παράγοντας νέα, πολύ αποδοτικά υλικά μεμβράνης, τα οποία ιδανικά, πρέπει να είναι ημι-διαπερατά και να επιλέγονται τα ιόντα τους να είναι συμβατά (για **RED**),να επιτρέψουν καλές ροές νερού (για **PRO**=**Pressure-Retarded-Osmosis**), να μην είναι επιρρεπείς σε ρύπανση ή απόφραξη (μειώνοντας έτσι το ενεργειακό κόστος της προ επεξεργασίας νερού)και καλή μηχανική σταθερότητα και αντοχή στις περιβάλλον συνθήκες.

Αρκετές προκλήσεις αντιμετωπίζει το πεδίο των τεχνολογιών μεμβράνης για αφαλάτωση και παραγωγή ενέργειας. Θέματα όπως επιλεκτικότητα, αντοχή υλικού σε υδάτινες συνθήκες και ρύπανση ελήφθησαν υπόψη στη δοκιμή και ανάπτυξη νέων δομών μεμβράνης με βάση προηγμένα υλικά, συμπεριλαμβανομένων των νέων κεραμικών, πολυμερή , σύνθετα και πορώδη νανοϋλικά όπως νανοσωλήνες , μεταλλικά – οργανικά πλαίσια (**MOFs**), στοιβαγμένες νανονιφάδες και τέλος λεπτές ταινίες. Αυτά τα υλικά αναπτύχθηκαν και δοκιμάστηκαν σε διάφορες διαμορφώσεις, συμπεριλαμβανομένου του όγκου , ενδογενείς πορώδεις δομές , ακριβώς μικροκατασκευασμένες , νανοκανάλια ή νανοπόροι σε μεμβράνες (στερεάς κατάστασης) , στοιβαγμένοι νανοσωλήνες και ατομικά λεπτοί , ανεξάρτητα (**2D**) υλικά (**2D** nanopores), τα οποία είναι τώρα στο προσκήνιο για τη συλλογή μπλε ενέργειας. Η πιο σημαντική αύξηση της παραγόμενης ισχύος η πυκνότητα λήφθηκε χρησιμοποιώντας νανοσωλήνες και στη συνέχεια ατομικά λεπτά υλικά. Το 2013, χρησιμοποιήθηκε η καλά καθορισμένη γεωμετρία των Νανοσωλήνων Νιτριδίου του Βορίου (**BNNTs**) για να δείξει πυκνότητες ισχύος που θα μπορούσαν να φτάσουν μέχρι 4kW/m^2 σε διαμόρφωση **RED**(**Reverse-Electrodialysis**) σε εργαστηριακές συνθήκες.

Στη συνέχεια, το 2016, χρησιμοποιήθηκε το (**2D**) υλικό **MoS_2** και ήταν κατασκευασμένες μεμβράνες που έφταναν ισχύς ~ 1MW/m^2 . Αυτά τα αποτελέσματα καταδεικνύουν βελτιώσεις της τάξεων μεγέθους σε σύγκριση με προηγούμενες αναφερθείσες «παχιές» μεμβράνες στερεάς κατάστασης, κατασκευής λεπτών νανοϋλικών (ιδιαίτερα **2D** υλικών) ιδιαίτερα ελπιδοφόρων για τη συγκομιδή ωσμωτικής ενέργειας. Απομένει να διευκρινιστεί ποια είναι τα υποκείμενα φυσικά φαινόμενα που δημιουργούν (**2D**) υλικά τόσο αποτελεσματικά στην παραγωγή ωσμωτικής ενέργειας και πώς οι ιδιότητες του υλικού μπορούν να

ρυθμιστούν για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης και αντιμετώπισης πρακτικών ζητημάτων με μεμβράνες στο εργαστήριο.

Για να διερευνήσουμε το ρόλο των δισδιάστατων υλικών και των ιδιοτήτων τους στην παραγωγή ωσμωτικής ισχύος χρησιμοποιώντας **RED**, πρώτα πρέπει να εισαχθούν τα θεμελιώδη υποκειμενικά φαινόμενα και τις αρχικές έννοιες και στη συνέχεια να εξεταστεί σχετικό υλικό με παχιά υλικά μεμβράνης πριν εστιαστεί σε νανοσωλήνες και (**2D**) υλικά και τις ιδιότητές τους. Μετά από την έρευνα μεθόδων κατασκευής και τα σημαντικά αποτελέσματα σε συστήματα ενός πόρου, επεκτείνουμε τις οδούς για την παραγωγή πορώδους μεμβρανών σε πολύ μικρή κλίμακα (σχήμα γκοφρέ) για **RED**.

Τέλος, συζητούνται οι τρέχουσες προκλήσεις, όπως χημικές και μηχανικές μεθόδους κατασκευής στιβαρότητας και αναβάθμισης σε ολόκληρες μεμβράνες.

- **PRO**=Pressure-Retarded-Osmosis
- **RED**=Reverse-Electrodialysis
- **BNNTs**=Boron-Nitride-Nanotubes
- **MOFs=**Metal–Organic-Frameworks
- **MoS_2=**Molybdenum disulfide

Μηχανική Ενέργεια

Το νερό καλύπτει πάνω από το 70% της επιφάνειας της Γης.

Δεν υποστηρίζει μόνο τη ζωή, αλλά περιέχει επίσης τεράστια ενέργεια.

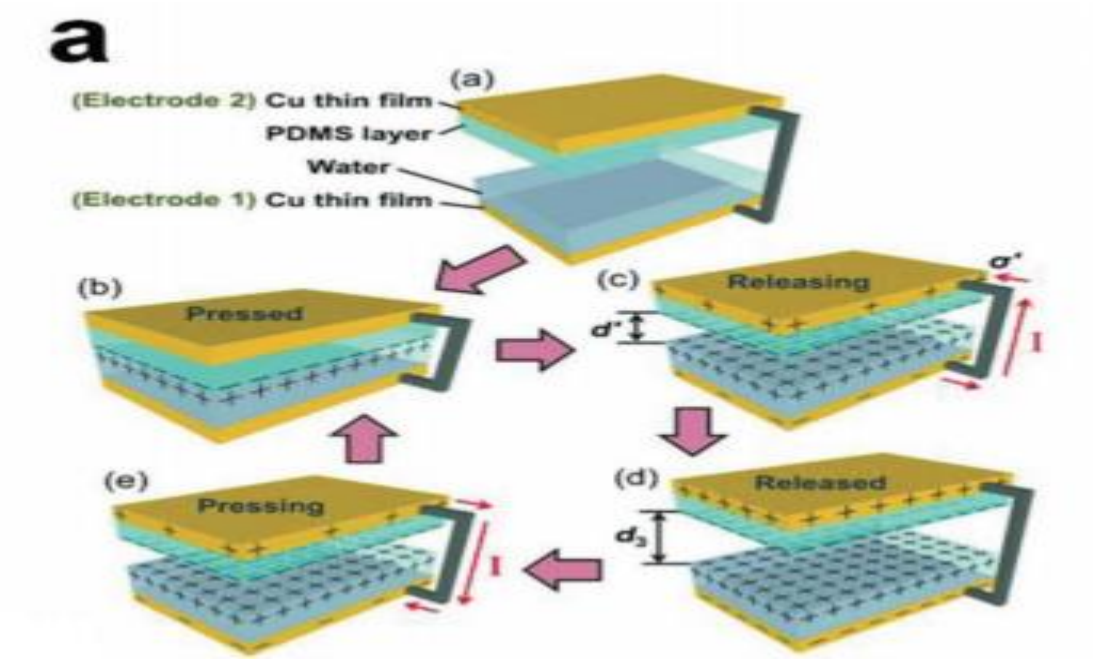
Το νερό, η ενέργεια περιλαμβάνει μια ποικιλία μορφών, συμπεριλαμβανομένων χημική, θερμική, κινητική και ούτω καθεξής.

Η χημική ενέργεια αξιοποιείται ευρέως, όπως διάσπαση νερού από ηλεκτρισμό ή φωτοκατάλυση.

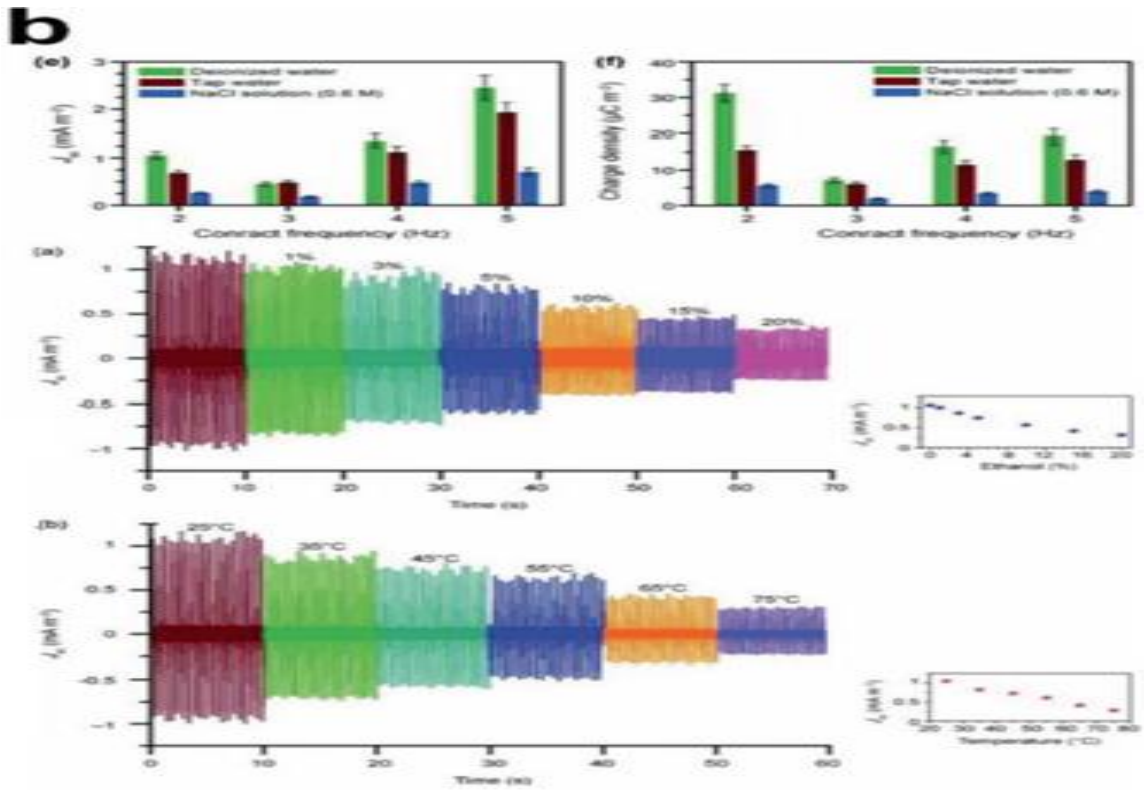
Η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για την παραγωγή ισχύος αλατότητας, η κινητική ενέργεια αναπτύσσεται καλά ως υδροηλεκτρική ενέργεια, η οποία είναι ευρέως διαδεδομένη και υψηλής οικονομικής αξίας.

Τα τελευταία χρόνια, με την πρόοδο της νανοτεχνολογίας και υλικά μικρής κλίμακας (νανοκλίμακας), προτείνονται νέες στρατηγικές για την αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του νερού. Με βάση την ηλεκτροδότηση επαφής νερού-στερεού, έχουμε αναφορές για μια **Τριβοηλεκτρική Νανογεννήτρια** με βάση το **Νερό (TriboElectric NanoGenerator-TENG).**

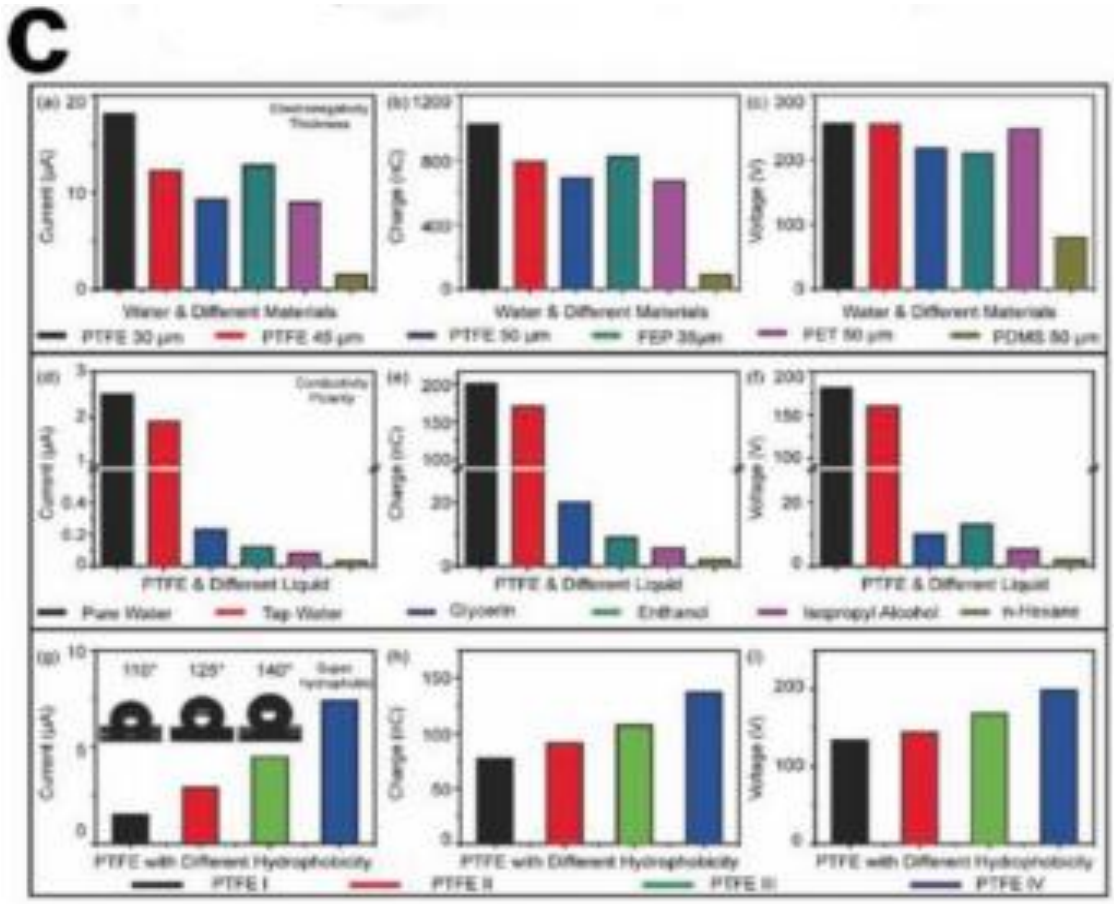
Το **TENG** εφευρέθηκε πρόσφατα και εκμεταλλεύεται την κυματική ενέργεια του νερού από τα ρεύματα μετατόπισης . Βασίζεται στον συνδυασμό της ηλεκτροδότησης επαφής και του ηλεκτροστατικού επαγωγικού αποτελέσματος και με χαρακτηριστικότατο το χαμηλό κόστος, με σημαντική υψηλή απόδοση και ποικίλες υλικές επιλογές, είναι κατάλληλο για συγκομιδή κινητικής ενέργειας νερού. Ερευνητές σε όλο τον κόσμο εστιάζουν σε αυτό το πεδίο.



Εικόνα 7. a) Λειτουργία επαφής διαχωρισμού του **TENG (TriboElectric-NanoGenerator)**



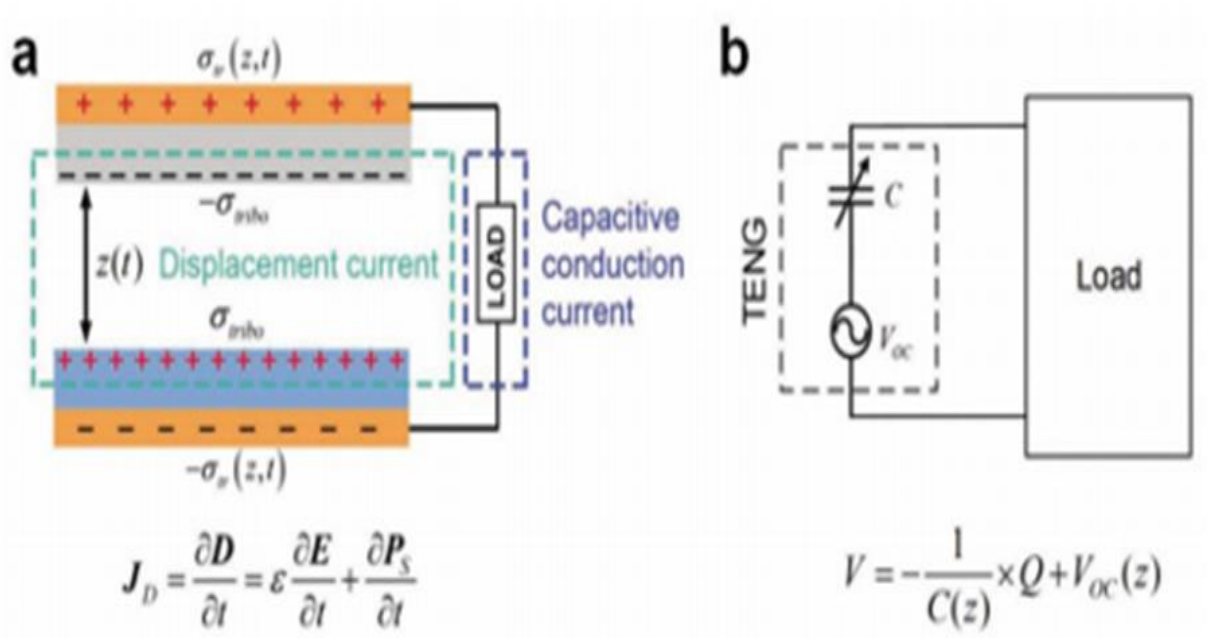
Εικόνα 7. b) Ηλεκτρικός χαρακτηρισμός του **TENG.**



Εικόνα 7. **c)** Απόδοση παραγωγής από διάφορα υλικά και υγρά.

Όσον αφορά τις εφαρμογές, εξετάζουμε και παραθέτουμε κάποιες πρόσφατα αναπτυγμένες αυτοδύναμες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων αδιάβροχοι αισθητήρες, αδρανειακοί αισθητήρες και αυτό-τροφοδοτούμενο μέταλλο αισθητήρα κατά της διόρθωσης και του αντισώματος.

Τα περισσότερα από αυτά βασίζονται στον μηχανισμό **TENG**.



Εικόνα 8. a) Σχηματικό διάγραμμα μηχανισμού λειτουργίας της **Τριβοηλεκτρικής Γεννήτριας TENG.**

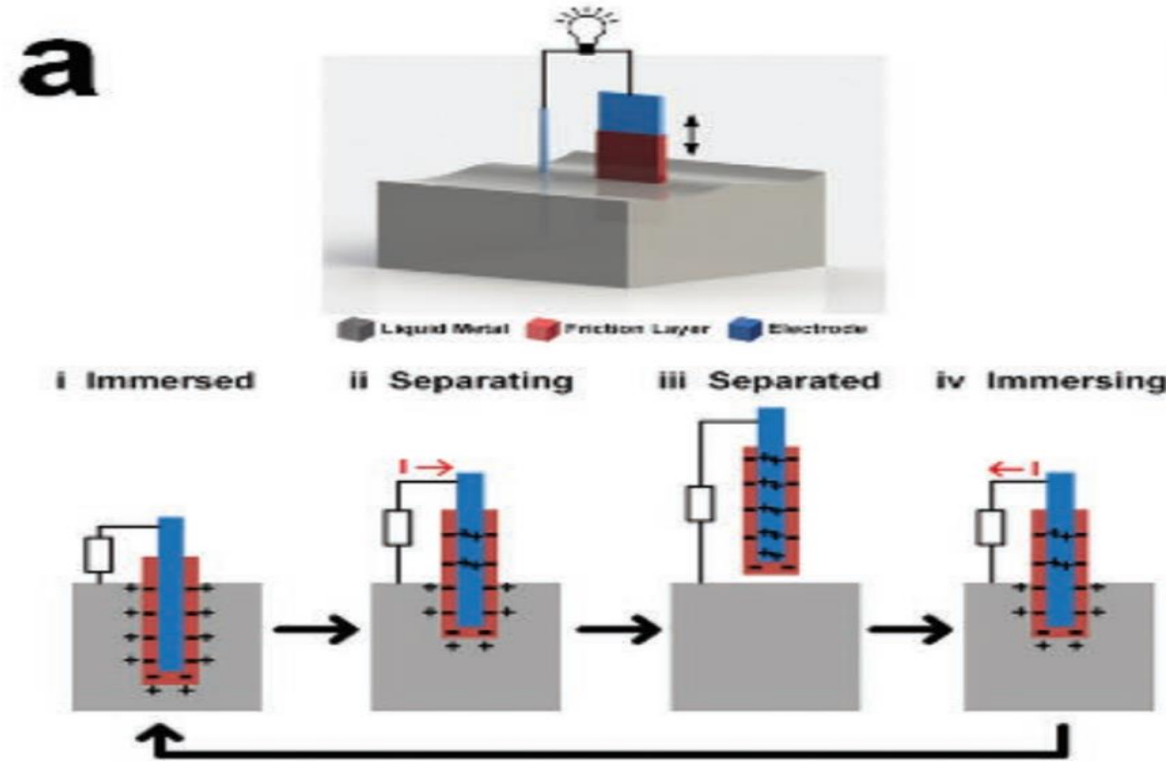
b) Το ισοδύναμο κύκλωμα **Τριβοηλεκτρικής Νανογεννήτριας TENG .**

Επιπλέον, λόγω της παραμόρφωσης του ρευστού και της ευελιξίας του **TENG**, **Τριβοηλεκτρικός Νανογεννήτριας** με βάση το **Υγρό** (**L-TENG**) είναι εξαιρετικά ευέλικτος, καθιστώντας το κατάλληλο για φορητές εφαρμογές.

Επίσης , το **L-TENG** αποδεικνύεται ότι συλλέγει ενέργεια από φυσικό νερό, συμπεριλαμβανομένων σταγόνων βροχής, κύματος και ακόμη και υποβρύχιες υπερηχητικές δονήσεις που το καθιστά εφικτή την ανάπτυξη μιας θεριστικής ενέργειας παντός καιρού και χρησιμεύει ως μοναδική λύση για την μπλε ενέργεια. Επιτέλους, συζητάμε για προοπτικές και ευκαιρίες για μελλοντική ανάπτυξη και εφαρμογές.

Σε αυτήν την ανασκόπηση, οι πρόσφατες εξελίξεις στη συλλογή ενέργειας νερού παρουσιάζεται με την προηγμένη νανοτεχνολογία. Το ρεύμα ροής, είτε σε κανάλια είτε σε λεπτές ταινίες, δείχνει μια καλή εξέλιξη.

Ωστόσο, αυτές οι συσκευές περιορίζονται από τη ροή και τις ιοντικές συγκεντρώσεις. Η στρατηγική της για την αύξηση της παραγωγής της συσκευής με υψηλή απόδοση χρειάζεται ακόμη συνεχείς προσπάθειες. Σίγουρα, βασισμένο σχετικά με την ίδια σκέψη, δηλαδή ηλεκτροδότηση με νερό-στερεό επαφής , δείχνει το **L-TENG** πιθανώς η υψηλότερη ισχύ εξόδου και τα μεγάλα πεδία εφαρμογής του.



Εικόνα 9. Συρόμενη λειτουργία **L-TENG**

(LiquidTriboElectric-NanoGenerator)

με υγρό μέταλλο ως το μέταλλο επαφής κατά τη διαδικασία ώσμωσης.

Αυτές οι συσκευές είναι ικανές για τη λειτουργία ως ρευστών αισθητήρων, αδρανειακών αισθητήρων και φορητών πηγών ισχύος. Συνδυάζοντας με ένα παραδοσιακό ηλιακό πάνελ , αυτό μπορεί να πραγματοποιήσει παραγωγή παντός καιρού, ανεξάρτητα από την ηλιόλουστη, τις θυελλώδεις, βροχερές ή ακόμα και σκονισμένες ημέρες του χρόνου. Επιπλέον, κατασκευάζοντας ένα δίκτυο νανογεννητριών, όπως πλωτή μπάλα **TENG** ή υποβρύχιες συσκευές, είναι μια πρόκληση για την επέκταση της μπλε ενέργειας , όχι μόνο από την επιφάνεια (κυματική ενέργεια), αλλά και κάτω από τη θάλασσα.

Προσπάθεια για την ανάπτυξη του **L-TENG** και για μελλοντικές εφαρμογές, οι ακόλουθες πτυχές της έρευνας που πρέπει να εξεταστεί και να επικεντρωθεί περισσότερη δουλειά είναι :

1. Ανάπτυξη υψηλής πυκνότητας φόρτισης με ηλεκτρισμό επαφής με νερό-στερεό. Η εκτεταμένη κατανόηση του μηχανισμού του, που η μεταφορά φορτίου μεταξύ του υγρού και του στερεού θα διευκολύνει το έργο βελτιστοποίησης.

2. Η επίδραση του μορίου του αερίου στην επαφή με το νερό-στερεό δημιουργεί εξηλεκτρισμό. Αυτό σύμφωνα με τη μικροσκοπική ατομική δύναμη που το περικλείει και ένας ελεγχόμενος από την ατμόσφαιρα θάλαμος θα είναι πολλά υποσχόμενος και ουσιαστική ερευνητική κατεύθυνση.

3. Η σχέση μεταξύ ηλεκτρισμού επαφής νερού-στερεού και το ηλεκτρικό διπλό στρώμα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω. Ένα βασικό συστατικό στην αποθήκευση ενέργειας για υπερσυμπιεστές, είναι η χρήση του για τη συλλογή ενέργειας που θα είναι πολύ ενδιαφέρουσα.

- **TENG=**Triboelectric-NanoGenerator
- **L-TENG=**Liquid-Triboelectric-NanoGenerator

Ηλιακή Ενέργεια

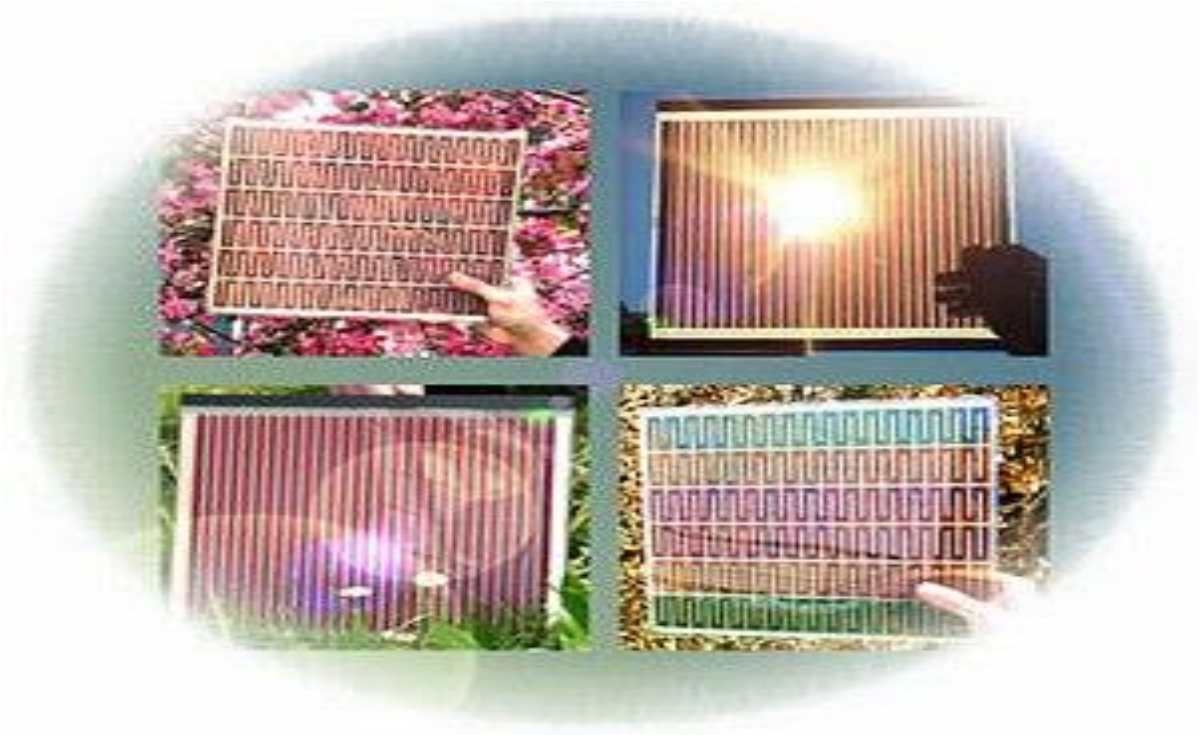
Το Γραφένιο χρησιμοποιείται και στην παραγωγή της ηλιακής ενέργειας. Μεταξύ διαφόρων οργανικών και ανόργανων υλικών, το γραφένιο παρουσιάζει ισχυρές δυνατότητες να συμβάλει στην ενεργειακή ζήτηση με διάφορους τρόπους. Τα ηλιακά κύτταρα μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας γραφένιο για να βελτιώσουν την απόδοση μετατροπής ισχύος. Οι μπαταρίες μπορούν να χρησιμοποιούν γραφένιο για να βελτιώσουν την απόδοση του κύκλου φόρτισης-εκφόρτισης και τη συνολική χωρητικότητα. Το Γραφένιο και τα διάφορα σύνθετά του μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε υπερκαταναλωτές για ενίσχυση της πυκνότητας ισχύος και της απόδοσης ρυθμού. Κατά κανόνα, η χρήση του γραφενίου μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο ευρείες κατηγορίες: **a)**Συσκευές αποθήκευσης ενέργειας **b)**Συσκευές μετατροπής ενέργειας. Εξάλλου, οι συσκευές με βάση το γραφένιο μπορούν να παρέχουν καθαρή ενέργεια με θεωρητικά μηδενικές εκπομπές αποβλήτων.



Εικόνα 10. Ηλιακά Κύτταρα από **Γραφένιο**

Οι επιστήμονες έχουν ήδη καταλήξει στην παραδοχή ότι οι περισσότερες κοινές ηλιακές κυψέλες εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την γωνία του φωτός. Ακριβέστερα, για την πρακτική χρήση των ηλιακών κυψελών, η πηγή φωτός συνήθως δεν ταιριάζει με την ιδανική ηλιακή πυκνότητα ισχύος($100 mW/cm^2$)και η γωνία πρόσπτωσης (**AOI=Angle Of Incidence**) των αλλαγών του ήλιου κατά τη διάρκεια της ημέρας είναι συνάρτηση της θέσης εγκατάστασής τους. Έχει παρατηρηθεί ότι στην ενσωμάτωση συστημάτων για τον εντοπισμό φωτισμού, εξακολουθεί να παρουσιάζεται μειωμένη απόδοση σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού, όπως συμβαίνει σε μια συννεφιασμένη μέρα ή νωρίς το πρωί. Οπότε, θεωρείται κρίσιμο να επιτευχθεί η ανάπτυξη των συνθηκών εκείνων σχετικά με το χαμηλό φωτισμό για ηλιακές κυψέλες, οι οποίες να έχουν τη δυνατότητα να επιτύχουν την άριστη απόδοση μετατροπής του φωτός ακόμη και σε μη ευνοϊκές καιρικές συνθήκες. Οι χαμηλού φωτισμού ηλιακές κυψέλες λειτουργούν ως νέες εφαρμογές σε εσωτερικούς χώρους, όπως το έξυπνο σπίτι και το έξυπνο κτίριο, με μέση κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, τα χαμηλού φωτισμού φωτοβολταϊκά θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη συγκομιδή της υπολειμματικής ενέργειας του φωτός, η οποία δεν απορροφάτε.

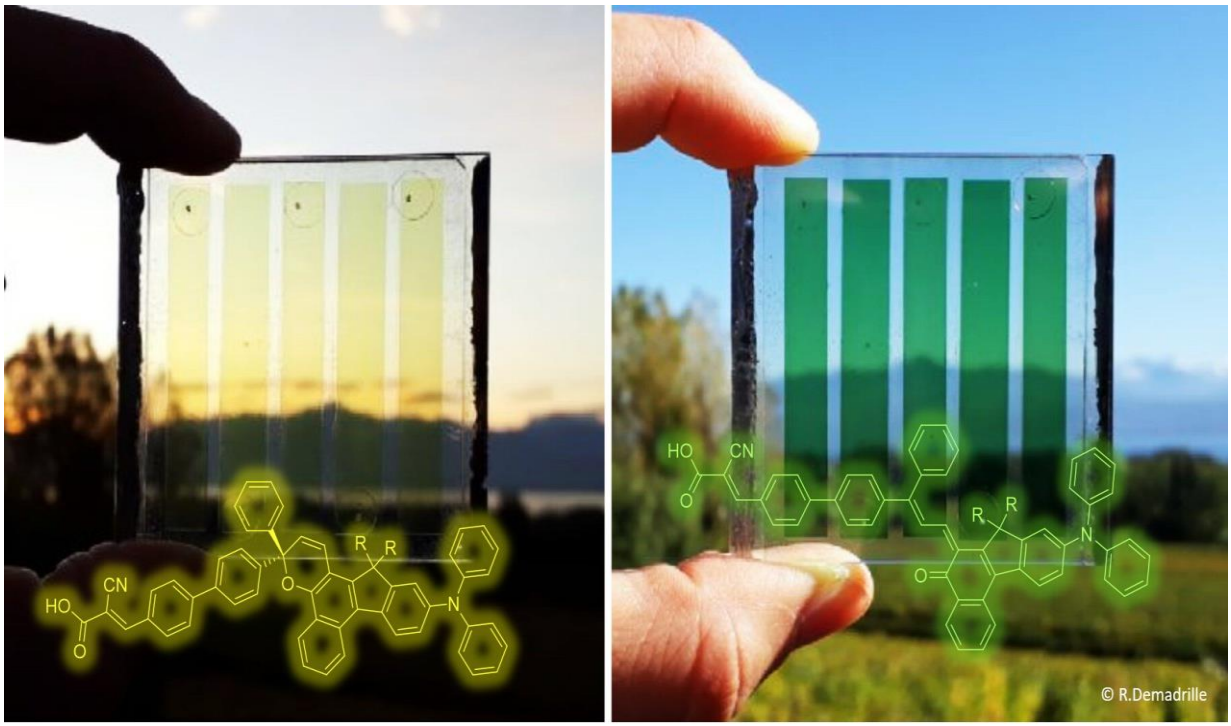
Σε αντίθεση με τις συμβατικές ηλιακές κυψέλες, η απόδοση των **DSSCs** (**Dye-Sensitized-Solar-Cells**) ηλιακών κυψελών επηρεάζεται σε μικρότερο βαθμό από την ένταση του φωτός, το οποίο καθιστά τις **DSSCs** ηλιακές κυψέλες αποτελεσματικότερες στις συσκευές μετατροπής φωτοηλεκτρονίων σε εσωτερικούς χώρους και γενικά σε συνθήκες χαμηλού επίπεδου εξωτερικού φωτισμού.



Εικόνα 11. Μια επιλογή από **Dye-Sensitized Solar Cells (DSSCs).**

Ένα κρίσιμο ζήτημα σε μια **DSSC** ηλιακή κυψέλη, είναι ότι θα πρέπει να έχει καλή αγωγιμότητα για τη μεταφορά των ηλεκτρονίων που ρέουν μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος και μια ανώτερη καταλυτική ικανότητα για την μείωση του τρίο-ιωδιούχο καταλύτη I_3- για την μείωση της απώλειας ενέργειας που προκαλείται από τη μεταφορά φορτίου υπερδυναμικότητας μεταξύ των ηλεκτρολυτών και του ηλεκτρικού συστήματος . Σε **DSSCs** ηλιακές κυψέλες, η χρήση της πλατίνας είναι ο πλέον χρησιμοποιούμενος καταλύτης σήμανσης, εξαιτίας της υψηλής αγωγιμότητας και της σταθερότητας του. Από την άλλη πλευρά, το υψηλό κόστος για την διαδικασία κατασκευής για την κατανάλωση της ενέργειάς του, καθιστά δύσκολη την εφαρμογή του.

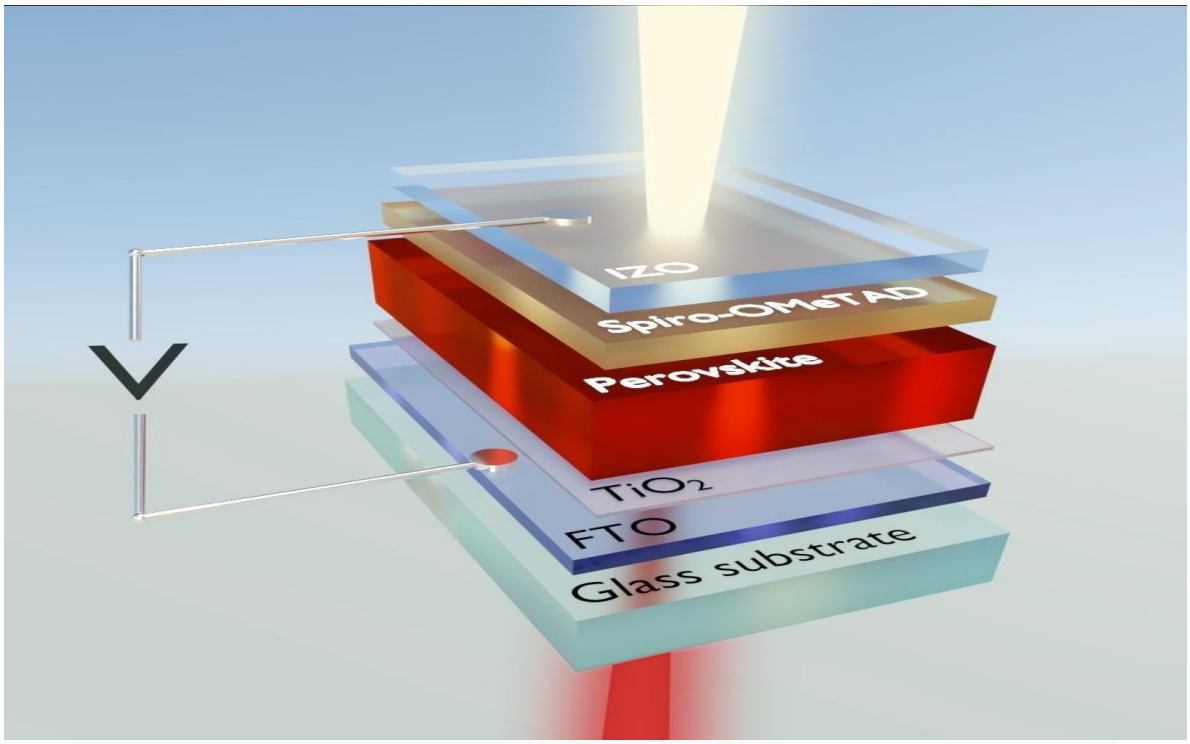
Με την αντικατάσταση της πλατίνας με άλλα φθηνότερα ηλεκτροκαταλυτικά υλικά, το κόστος της κατασκευής των **DSSCs** ηλιακών κυψελών σε βιομηχανική κλίμακα μπορεί να μειωθεί σε μεγάλο βαθμό και αυτό θα προκαλέσει την αύξηση της ανταγωνιστικότητας στην αγορά των **DSSCs** ηλιακών κυψελών.



Εικόνα 12. Ηλιακά κύτταρα ευαισθητοποιημένα με βαφή (**DSSCs**) που προσαρμόζονται σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού.

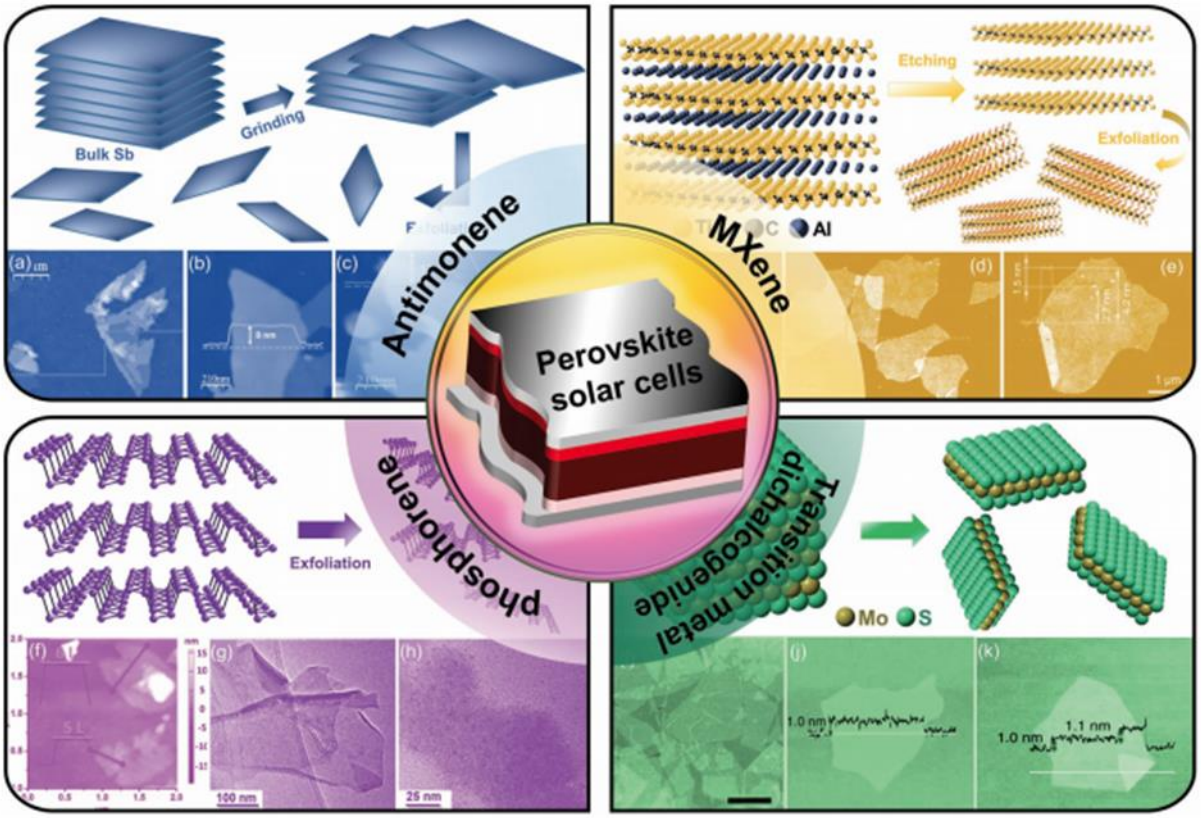
Το τελευταίο διάστημα, αγώγιμα πολυμερή υλικά όπως τα ανθρακούχα υλικά όπως αιθάλη , γραφίτης , νανοσωλήνες άνθρακα και το γραφένιο έχουν καταστεί οι κορυφαίοι υποψήφιοι ως καταλύτες σήμανσης για **DSSCs** ηλιακές κυψέλες, ακριβώς επειδή έχουν ελεύθερα άφθονα μεταλλικά στοιχεία, χαμηλό κόστος και διαθέτουν καλές ηλεκτροκαταλυτικές δράσεις.

Ανάμεσα σε ένα ευρύ φάσμα φωτοβολταϊκών συσκευών, τα ηλιακά κύτταρα **Perovskite** (**PSC**) βρίσκονται αυτήν τη στιγμή σε ερευνητικό ενδιαφέρον λόγω της απλής διαδικασίας κατασκευής και του χαμηλού κόστους καθώς επίσης και της υψηλής απόδοσης μετατροπής ισχύος (**PCE**) αλλά το σημαντικότερο είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής τους.



Εικόνα 13. Τα **Perovskite (PSC)** ηλιακά κύτταρα μετατρέπουν ένα υψηλό κλάσμα του προσπίπτοντος φωτός απευθείας σε χρησιμοποιήσιμο ρεύμα.

Οι προκλήσεις που καλούνται να αντιμετωπίσουν περιλαμβάνουν μακροπρόθεσμη αστάθεια σε υγρασία, σε αυξημένη θερμοκρασία και με τον ελαφρύ εμποτισμό τους. Αυτό με τη βοήθεια των Δισδιάστατων Νανοϋλικών (**2D**) το Αντιμόνιο (**Sb**) , τον Μαύρο Φώσφορο (**BP**) και τα Μεταβατικά Διχαλκογονίδια Μετάλλων (**TMDs**)→[**MoS_2**, **WS_2**, **$MoSe_2$**, **WSe_2**, **$MoTe_2$**] ενισχύει την αποτελεσματικότητα και την σταθερότητα του **PSC** φωτοβολταϊκού στοιχείου.



Εικόνα 14. Σχηματικό διάγραμμα που δείχνει τις διάφορες κατηγορίες **(2D)** υλικών.

Συμπερασματικά η χρήση (**2D**) νανοϋλικών σε στρώσεις σε **PSCs** είναι σημαντική υπόσχεση για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας της έρευνας.

Διότι μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, σημειώθηκε εξαιρετική πρόοδος στα δυσδιάστατα νανοϋλικά για τη χρήση τους ως φορείς μεταφοράς ενέργειας (**HTMs**) στο φωτοβολταικό στοιχείο.

Για παράδειγμα, λόγω του p-τύπου τους κυριαρχούν για τις ημιαγωγιμές ιδιότητες τους , αναπτύσσοντας καλά λειτουργικά (**2D**) υλικά όπως φωσφορούχο-αντιμόνιο τα οποία ευθυγραμμίζουν κατάλληλα την επιφάνεια ενέργειας τους σε ένα φωτοβολταικό στοιχείο (**PSCs**).

- **DSSC**= Dye-Sensitized-Solar-Cell
- **AOI**=Angle Of Incidence
- **PSC**=Perovskite-Solar-Cell
- **PCE**=Power-Conversion-Efficiency
- **TMDs**=Transition-Metal-Dichalcogenides
- **HTM**= Hole-Transporting-Material
- **BP**=Black-Phosphorus
- **Sb=**Stibium or Antimony

Ενέργεια από άλλες Μορφές Μετατροπής Ενέργειας

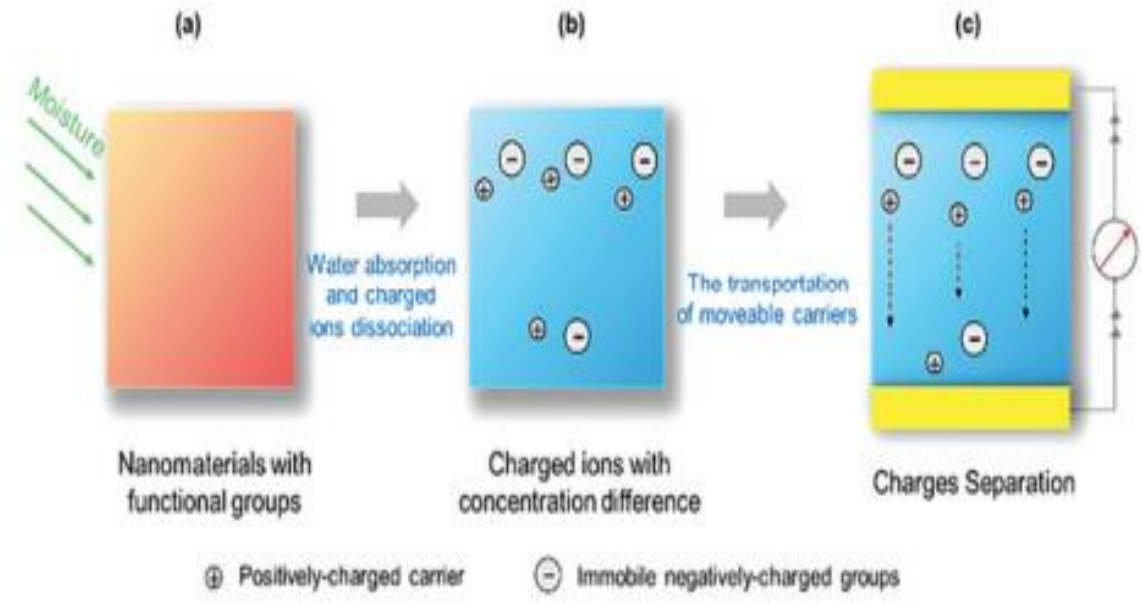
Η εξερεύνηση της πράσινης και καθαρής ενέργειας θα μπορούσε να λύσει τα ολοένα και πιο σοβαρά προβλήματα της περιβαλλοντικής ρύπανσης και της ενεργειακής κρίσης στη Γη. Ο υγρός αέρας είναι πανταχού παρών σε όλο τον κόσμο, ο οποίος έχει τεράστια χημική, δυναμική ενέργεια λόγω της αέριας κατάστασης των μορίων του νερού. Πρόσφατα, μια ομάδα απέδειξε την άμεση παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ υγρασίας και διαφόρων λειτουργικά υλικών, τα οποία άνοιξαν ένα παράθυρο για τη χρήση της υγρασίας. Αυτό οδήγησε σε μια αύξηση των μελετών για την **Παραγωγή Υγρού-Ηλεκτρικού Ρεύματος (Moist-Electric-Generation=MEG).**

Σε αυτό το σημείο, έχουμε μια σύντομη και συστηματική συζήτηση για το **(Moist-Electric-Generation=MEG)** από τον μηχανισμό εργασίας του έως τις πρακτικές εφαρμογές και την πρόσφατη πρόοδο στα προηγμένα υλικά. Οι τρέχουσες προκλήσεις και οι πιθανές τάσεις στο **MEG** περιγράφονται επίσης για να καθοδηγήσουν το σχεδιασμό και τη σύνθεση συσκευών υψηλής απόδοσης **MEG** στο μέλλον. Πρόσφατα, με την ανάπτυξη προηγμένων νανοϋλικών έχουν αναπτυχθεί συστήματα παραγωγής υγρού-ηλεκτρικού ρεύματος (**MEG**) για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τις αλληλεπιδράσεις όπου υπάρχει υγρασία και νανοϋλικά σε ιονισμένες ομάδες, παρέχοντας έτσι νέους τρόπους συλλογής ενέργειας από νερό.

Σε **MEG** , τα μόρια νερού στην υγρασία του αέρα μπορούν να απορροφηθούν αυτόματα από μια έξοδο τροφοδοσίας έως 1,5V και είναι σε θέση να τροφοδοτούν ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

Ωστόσο, μέχρι στιγμής, δεν υπάρχει αναφορά σχετικά με μια συστηματική και έγκαιρη συζήτηση για την ανάπτυξη λειτουργικών υλικών για **MEG.** Έχουμε συνοψίσει εν συντομία την πρόσφατη πρόοδο στα προηγμένα λειτουργικά υλικά για **MEG**, συμπεριλαμβανομένου του γραφίτη και άλλων με βάση τον άνθρακα υλικά, πολυμερή και μεταλλικά οξείδια με έμφαση στις μηχανικές ιδιότητες και τις πρακτικές εφαρμογές τους. Παρόμοιο με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο που παράγει τάση ή ηλεκτρικό ρεύμα σε φωτοβολταϊκά στοιχεία όταν εκτίθεται σε ηλιακό φως, ο βασικός μηχανισμός του **MEG** υγρασία-φωτοβολταϊκή επίδραση που παράγει τάση ή ηλεκτρικό ρεύμα σε νανοϋλικά κατά την έκθεση του σε υγρασία .

Στη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, υλικά που φέρουν υδρόφιλες λειτουργικές ομάδες (π.χ. **–OH**, **–COOH** και **–SO_3H**) αρχικά απορροφούν μόρια νερού. Δεύτερον, η απορρόφηση μορίων νερού σε υλικά, οδηγεί στη διάσπαση τους σε λειτουργικές ομάδες, οι οποίες αποδυναμώνουν και σπάζουν τους χημικούς δεσμούς, απελευθερώνοντας θετικά και αρνητικά φορτισμένα ιόντα και συνεπώς οδηγούν σε συγκέντρωση διαφοράς δυναμικού στη συγκεκριμένη περιοχή.



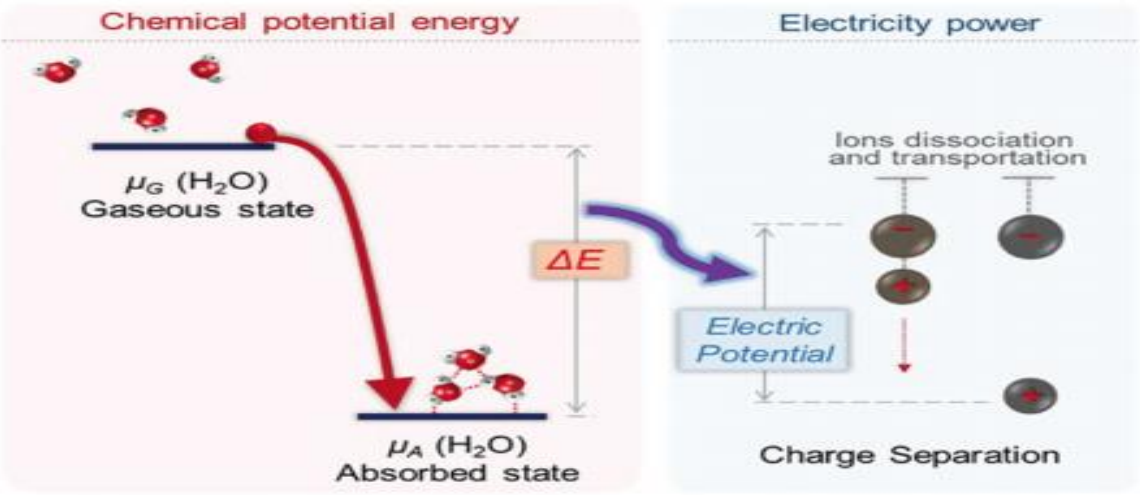
Εικόνα 15. Διαδικασία παραγωγής τάσης από **MEG**.

a) Τα μόρια του νερού που είναι εκτεθειμένα σε υλικά που φέρουν υδρόφιλες λειτουργικές ομάδες σε υγρή ατμόσφαιρα.

b) Θετικά και αρνητικά, τα φορτισμένα ζεύγη φορέων διαχωρίζονται.

c) Κάτω από τη διαφορά συγκέντρωσης, κινητές φορτισμένες ομάδες μεταφοράς κατευθύνουν από την υψηλή περιοχή συγκέντρωσης σε περιοχή χαμηλής συγκέντρωσης, με αποτέλεσμα το διαχωρισμό φορτίου και την ηλεκτρική ενέργεια.

Η παραγόμενη ηλεκτρική τάση των συσκευών **MEG** έχει αυξηθεί από περίπου 35mV το 2015 σε σημαντική τιμή 1,5V κοντά σε μια πενταετία. Ο βασικός παράγοντας είναι να κατασκευαστεί μια διαφορά συγκέντρωσης φορτισμένων ιόντων σε λειτουργικά υλικά που θα ασκήσουν δύναμη για την κατευθυντική διάχυση κινητών φορτισμένων ιόντων, το οποίο μπορεί να επιτευχθεί μέσω δύο στρατηγικών .

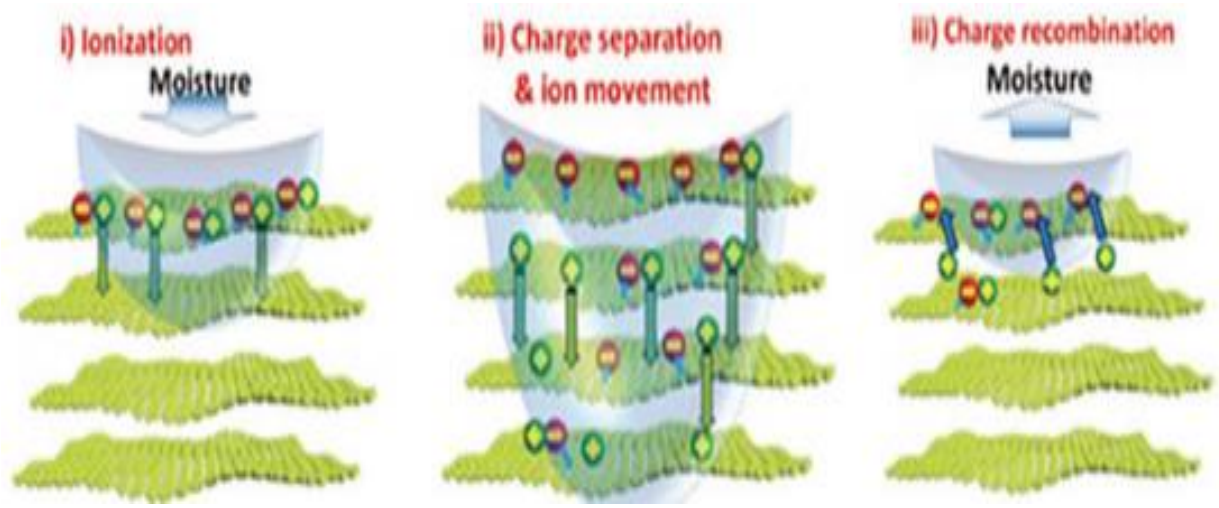


Εικόνα 16. Σχηματική μετατροπή από χημική ενέργεια σε ενέργεια ηλεκτρικού δυναμικού από τις αλληλεπιδράσεις των μορίων νερού και λειτουργικά υλικά .Το χημικό δυναμικό του νερού στον αέρα **μG (αέρια κατάσταση)** και σε υλικά **μA (απορροφούμενη κατάσταση)** σε φθίνουσα σειρά είναι: **μG> μA**. Όταν υλικά με λειτουργικές ομάδες έρχονται σε επαφή με υγρασία, τότε το νερό απελευθερώνει ενέργεια που την παρέχει για τη διάσπαση και μεταφορά ιόντων, με αποτέλεσμα τον διαχωρισμό φορτίου και ηλεκτρικό δυναμικό.

(1) Η ασύμμετρη ενυδάτωση των λειτουργικών υλικών μπορεί να σχηματίσει υψηλή και χαμηλή συγκέντρωση φορτισμένων ιόντων στις δύο πλευρές ενός υλικού. Μια υψηλή συγκέντρωση φορτισμένων ιόντων θα εισαχθεί στη πλευρά του υλικού που έρχεται σε επαφή με υψηλή σχετική υγρασία. Από την άλλη πλευρά των λειτουργικών υλικών, θα σχηματίσει χαμηλότερη συγκέντρωση φορτισμένων ιόντων.

(2) Η ρύθμιση της χημικής σύνθεσης σε λειτουργικά υλικά μπορεί να επηρεάσει άμεσα τη διαφορά συγκέντρωσης εσωτερικών ιόντων μετά την απορρόφηση υγρασίας. Υψηλή συγκέντρωση φορτισμένων ιόντων θα σχηματιστεί από την πλευρά των υλικών με της υψηλής λειτουργικότητας ομαδικό περιεχόμενο, ενώ η πλευρά με χαμηλό λειτουργικό περιεχόμενο θα έχει χαμηλή συγκέντρωση φορτισμένων ιόντων.

Δισδιάστατη (2D) μεμβράνη με βάση το Γραφένιο για MEG



Εικόνα 17. Σχέδιο που δείχνει τον μηχανισμό παραγωγής ενέργειας για μια πρωτότυπη **GO** film με ασύμμετρη ενυδάτωση.

Η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συσχετίστηκε καλά με την κατευθυντική κίνηση των ιόντων του υδρογόνου H+ στην ταινία GO film. Ο αριθμός των κινητών H+ μειώθηκε με την εκρόφηση μορίων νερού υπό υγρασία οδηγώντας στον ανασυνδυασμό των ελεύθερων ιόντων H+ με αρνητικά φορτισμένες ομάδες και μείωση της δημιουργίας δυναμικού. Αυτή η έρευνα έδειξε ότι είναι ομοιογενές.

Η ταινία **GO MEG** μπορεί να δημιουργήσει μέγιστο Voc=0,7V και ισχύ εξόδου 180mW/m^2 όταν εκτίθεται σε υγρασία με 100%. Στη συνέχεια, μια μέθοδος που αναπτύχθηκε για την επίτευξη της μεγάλης κλίμακας παραγωγής ταινιών **GO-MEGs** σε ένα κομμάτι εύκαμπτου χαρτιού.

Τα μεγέθη και οι αριθμοί μπορούν να διαμορφωθούν για τάση εξόδου στα 2V και απλώς συνδέοντας **GO** ταινίες **MEGs** σε σειρά.

Σε αυτήν την ταινία **GO MEG**, η κατεύθυνση της διάχυσης υγρασίας είναι ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την κατασκευή των διαφορών συγκέντρωσης ιόντων και την τελική ηλεκτρική απόδοση.

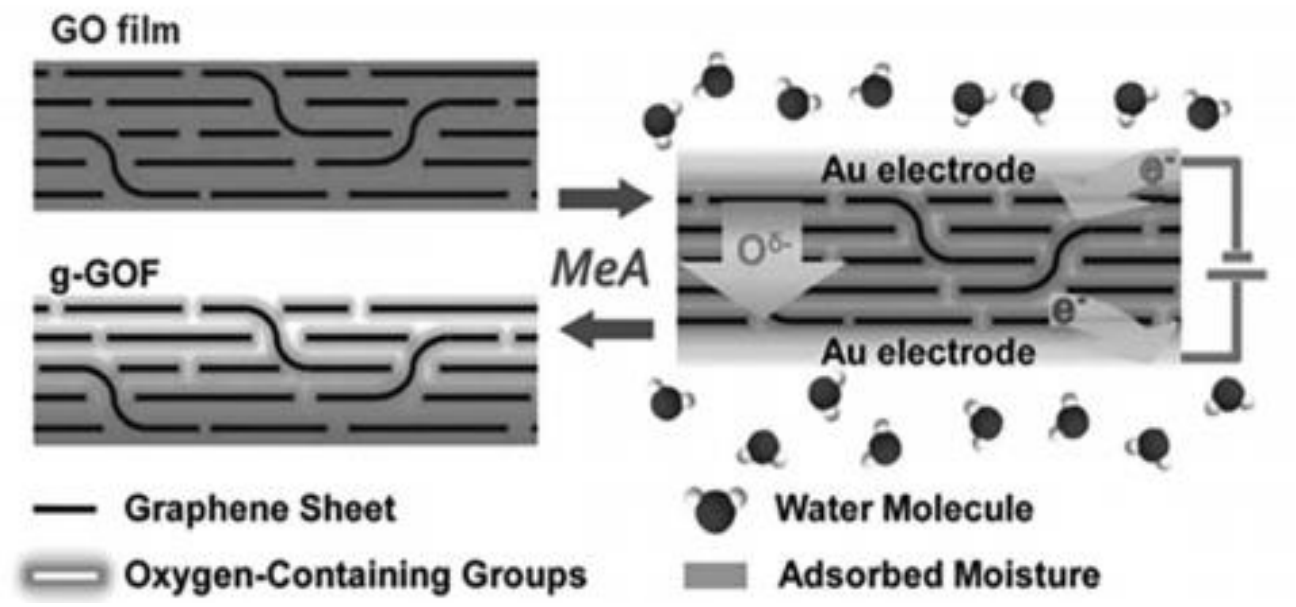
Διαδικασία Ηλεκτρικής Ανόπτησης Υγρασίας MeA (Moisture-electric-Annealing)

Μια άλλη διαδικασία σε μια ταινία **GO** με μέθοδο **Ανόπτησης Ηλεκτρικής Υγρασίας (MeA)**, σχηματίζοντας μια κλίση ομάδα οξυγόνου που διανέμεται στο **GO** film . Αυτό το **g-GOF** έτοιμο όταν θα χρησιμοποιείται θα μπορούσε να συλλέξει ενέργεια με απορρόφηση υγρασίας και να παράγει Voc=35mV και ρεύμα 10μA/cm^2 αντίστοιχα, με υγρασία **RH** (ΔRH = 55%), χωρίς την κατεύθυνση με περιορισμό της διάχυσης υγρασίας .

Οι ομάδες που περιέχουν οξυγόνο αυξάνονταν σταδιακά σε αριθμό από την επάνω πλευρά έως την κάτω πλευρά του **g-GOF**. Όταν εκτίθεται στην υγρασία, το περιεχόμενο απορρόφησης νερού σε **g-GOF** αυξάνετε επίσης σταδιακά, και έτσι τα παραγόμενα ιόντα H+ αναπτύσσουν μια κλίση συγκέντρωσης, με αποτέλεσμα αυθόρμητα ιόντα H+ να μεταναστεύουν από την περιοχή της υψηλής προς την περιοχή της χαμηλής συγκέντρωσης. Αυτό το υλικό **g-GOF** ήταν τόσο ευαίσθητο στην υγρασία RH που αλλάζει ακόμη και με την ανθρώπινη αναπνοή (ΔRH = 21%) , στο **g-GOF** θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή των Voc≈18mV και ρεύμα 75,7μA/cm^2 αντίστοιχα και θα μπορούσε να χρησιμεύσει ως αυτόνομη παρακολούθηση της αναπνευστικής συχνότητας σχετικά με τον ανθρώπινο καρδιακό ρυθμό.

Σε ταινίες **GO**(**Group Oxygen**) ή **g-GOF**(**gradient-Group Oxygen Film**), τα φύλλα **GO** στοιβάζονται μαζί έτσι ώστε η μεταφορά ιόντων H+

να πρέπει να ξεπεράσει το ενδιάμεσο εμπόδιο μεταξύ φύλλων κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 18. Διαδικασία Ηλεκτρικής Ανόπτησης Υγρασίας **MeA (a Moisture-electric-Annealing)** σε **GO(Group Oxygen)** film με εφαρμοζόμενη τάση κάτω από υγρασία περιβάλλοντος.

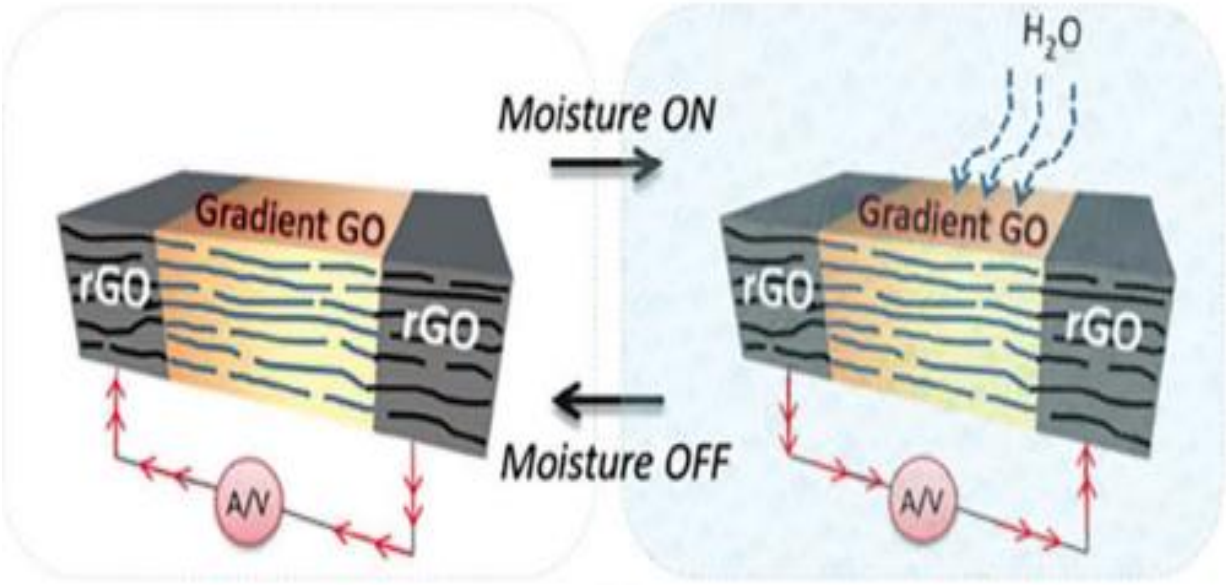
Τρισδιάστατη(3D) μεμβράνη με βάση το Γραφένιο για MEG

Η πορώδης δομή ενός τρισδιάστατου (**3D**) αφρού με βάση το Γραφένιο διευκολύνει έντονα τη διάχυση των μορίων του νερού και τη διάσπαση των ελεύθερων ιόντων H+ για την παραγωγή υψηλότερου ηλεκτρικού φορτίου. Με τις κατεργασίες με ξηρά ψύξη ο αφρός (**3D**) **GO**

απελευθερώνετε και απλώνετε ελεύθερα στα ιόντα H+ και με συγκεκριμένη κλίση.

Αφού ο αφρός απορροφήσει την υγρασία, λόγω της πολύ μεγάλης ειδικής επιφάνειας και της πορώδους διασυνδεδεμένης σκελετικής δομής, παρουσιάζει ταχύτερη διαπερατότητα υγρασίας και επιταχυνόμενη ιοντική μεταφορά για μόρια νερού που αυτό δημιουργείται από το τριχοειδές φαινόμενο.

Ως εκ τούτου, το συγκεκριμένο **MEG** δημιούργησε τάση Voc=0,26 V και ρεύμα 3,2mA/cm^2 .



Εικόνα 19. Σχηματικό ενός κύκλου μετατροπής υγρασίας-ηλεκτρικής ενέργειας. Το **V** και **A** αντιπροσωπεύουν την επαγόμενη τάση και ρεύμα κατά την κατεύθυνση που έχουν τα βέλη, αντίστοιχα.

- **MEG**= Moist-Electric-Generation
- **MeA**= Moisture-Electric-Annealing
- **GO**=Group Oxygen
- **g-GOF**=Gradient-Group Oxygen Film
- **RH** =Υγρασία

Συμπεράσματα

Η νέα Νανοτεχνολογία ως επιστήμη επικεντρώνεται στη μελέτη και στην ανάπτυξη εφαρμογών νανοκλίμακας έχοντας δημιουργήσει ένα πεδίο τεράστιο επιστημονικού ενδιαφέροντος. Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκαν καινοτόμες εφαρμογές της νανοτεχνολογίας σε τέσσερις μορφές ενέργειας που είναι ιδιαίτερα διαδεδομένες και έχουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Συνεργασία που προηγήθηκε διαφάνηκε ότι οι πιο βασικές κατηγοριοποιήσεις οι οποίες μπορεί να εφαρμοστούν και εμπορικά είναι αυτές που έχουνε βάση τον άνθρακα, τα σύνθετα υλικά και τα δενδρομερή. Στην παρούσα εργασία διαφάνηκε ότι ο γραφίτης τείνει να αποκτήσει την έντονη προσοχή της επιστημονικής κοινότητας καθώς μπορεί να καταστεί μία καλή πηγή μετατροπής ενέργειας επειδή παρουσιάζει υψηλή αγωγιμότητα ,έχει επίσης υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό καθώς και ανώτερη θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το μόνο μελανό ίσως σημείο που εξάγεται από την παραπάνω έρευνα είναι ότι η ραγδαία εξέλιξη του κλάδου τείνει να περιθωριοποιεί την υποχρέωση της διερεύνησης τυχόν επιπλοκών και συνεπειών της χρήσης της τεχνολογίας αυτής ,συνέπειες που μπορεί να είναι σε περιβαλλοντικό, οικονομικό, κοινωνικό και ηθικό επίπεδο. Για το λόγο αυτό είναι αναγκαίο να αναπτυχθεί και το νομικό υπόβαθρο της χρήσης της τεχνολογίας αυτής, ώστε να αποκλειστούν οι περιπτώσεις κατάχρησης και μεγάλης επικινδυνότητας. Παράλληλα να διασφαλιστεί ότι ως τεχνολογία θα διανεμηθεί και στις λιγότερο προηγμένες χώρες έτσι ώστε όλοι να επωφεληθούν από τις ωφέλειες της.

Βιβλιογραφία

- J. Feng, M. Graf, K. Liu, D. Ovchinnikov, D. Dumcenco, M. Heiranian, V. Nandigana, N. R. Aluru, A. Kis and A. Radenovic, Nature, 2016.
- M. Wild, D. Folini, M. Z. Hakuba, C. Schurz, S. I. Seneviratne, S. Kato, D. Rutan, C. Ammann, E. F. Wood and G. König-Langlo, Clim. Dyn. , 2015.
- Y. Xu, P. Chen and H. Peng, Chem. – Eur. J., 2018.
- N. Nouri, F. Balali, A. Nasiri, H. Seifoddini and W. Otienob, Appl. Energy, 2015.
- S. Y. Tee, K. Y. Win, W. S. Teo, L. D. Koh, S. Liu, C. P. Teng and M. Y. Han, Adv. Sci., 2017.
- D. Yang, R. Yang, S. Priya, S. Liu, Angew. Chem., Int. Ed. 2019.
- H. Zhang, M. K. Nazeeruddin, W. C. H. Choy, Adv. Mater. 2019.
- P. Wang, Y. Wu, B. Cai, Q. Ma, X. Zheng, W.-H. Zhang, Adv. Funct. Mater. 2019.
- X. Hu, F. Li, Y. Song, ACS Energy Lett. 2019.
- S. H. Zaferani, in Environmental Science & Engineering Vol. 9, Studium Press LLC Publisher, Houston, USA, 2017.
- S. D. Pohekar, M. Ramachandran, Renew. Sust. Energ. Rev., 2004.
- Chu, S. and Majumdar, A., Nature, 2012.
- E. Pomerantseva, F. Bonaccorso, X. Feng, Y. Cui, Y. Gogotsi, Science, 2019.
- J. Antonanzas, N. Osorio, R. Escobar, R. Urraca, F. J. Martinez-dePison, F. Antonanzas-Torres, Solar Energy, 2016.
- S. Sinha, S. S. Chandel, Renew. Sust. Energy Rev., 2015.
- T. D. Lee, A. U. Ebong, Renew. Sust. Energy Rev., 2017.
- S. Sharma, K K. Jain, A. Sharma, Mater. Sci. Appl., 2015.
- D. Akinwande, C. J. Brennan, J. S. Bunch, P. Egberts, J. R. Felts, H. Gao, R. Huang, J.-S. Kim, T. Li, Y. Li, Extreme Mech. Lett. 2017.
- D. G. Papageorgiou, I. A. Kinloch, R. J. Young, Prog. Mater. Sci. 2017.
- K. Geim, K. S. Novoselov, Nat. Mater. 2007.
- S. Morozov, K. Novoselov, M. Katsnelson, F. Schedin, D. Elias, J. A. Jaszczak, A. Geim, Phys. Rev. Lett. 2008.
- V. Berry, Carbon 2013.
- T. Palacios, Nat. Nanotechnol. 2011.

- W. Han, R. K. Kawakami, M. Gmitra, J. Fabian, Nat. Nanotechnol. 2014.
- X. Yu, H. Cheng, M. Zhang, Y. Zhao, L. Qu, G. Shi, Nat. Rev. Mater. 2017.
- K. Kostarelos, M. Vincent, C. Hebert, J. A. Garrido, Adv. Mater. 2017.
- K. S. Novoselov, V. Fal, L. Colombo, P. Gellert, M. Schwab, K. Kim, Nature 2012.
- S. Jang, E. Hwang, Y. Lee, S. Lee, J. H. Cho, Nano Lett. 2015.
- Castellanos-Gomez, J. Phys. Chem. Lett. 2015.
- Izabella F, Di Giacomo F, Gorter H, Brunetti F, Groen P, Andriessen R and Galagan Y 2018 Solvent systems for industrial-scale processing of spiro-OMeTAD hole transport layer in perovskite solar cells ACS Appl. Energy Mater.
- Wang Z K and Liao L S 2018 Doped charge-transporting layers in planar perovskite solar cells Adv. Opt. Mater.
- Courtier N E, Cave J M, Foster J M, Walker A B and Richardson G 2019 How transport layer properties affect perovskite solar cell performance: insights from a coupled charge transport/ion migration model Energy Environ. Sci.
- Fakharuddin A, Schmidt-Mende L, Garcia-Belmonte G, Jose R and Mora-Sero I 2017 Interfaces in perovskite solar cells Adv. Electron. Mater.
- Wang S, Sakurai T, Wen W and Qi Y 2018 Energy level alignment at interfaces in metal halide perovskite solar cells Adv. Mater. Interfaces.
- Saidaminov M I et al 2018 Suppression of atomic vacancies via incorporation of isovalent small ions to increase the stability of halide perovskite solar cells in ambient air Nat. Energy.
- Kambhampati P 2019 Two-dimensional electronic spectroscopy reveals liquid-like lineshape dynamics in CsPbI3 perovskite nanocrystals Nat. Commun.
- Miyata K, Atallah T L and Zhu X 2017 Lead halide perovskites: crystal-liquid duality, phonon glass electron crystals, and large polao formation Science.
- H. Wendt, Electrochemical Hydrogen Technologies-Electrochemical Production and Combustion of Hydrogen, Elsevier, Amsterdam 1990.
- S. Leob, R. S. Norman, Science 1975.
- F. R. Fan, Z. Q. Tian, Z. L. Wang, Nano Energy 2012.

- S. Kim, M. K. Gupta, K. Y. Lee, A. Sohn, T. Y. Kim, K.-S. Shin, D. Kim, S. K. Kim, K. H. Lee, H.-J. Shin, D.-W. Kim, S.-W. Kim, Adv. Mater. 2014.
- C. K. Jeong, K. M. Baek, S. Niu, T. W. Nam, Y. H. Hur, D. Y. Park, G. T. Hwang, M. Byun, Z. L. Wang, Y. S. Jung, K. J. Lee, Nano Lett. 2014.
- G. Quincke, Ann. Phys. Chem. 1859.
- https://en.wikipedia.org/wiki/Dye-sensitized_solar_cell
- https://www.researchgate.net/
- https://techxplore.com/
- https://el.wikipedia.org/wiki/