

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΜΕΡΙΚΟΣ ΔΙΑΔΟΧΟΣ πρ. ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

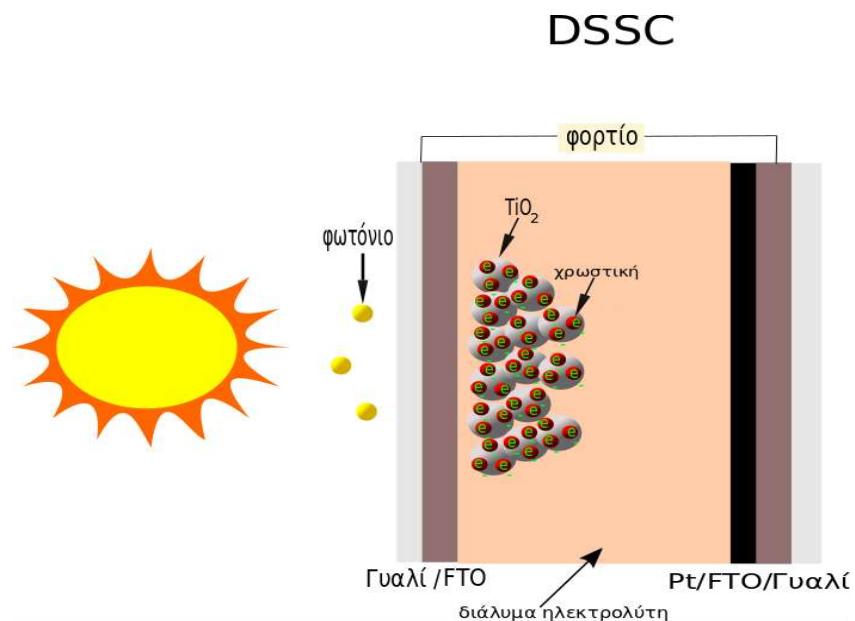
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΙΚΟ ΕΤΟΣ 2019-2020

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: 1707

«Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτήρια μέσω αυτόνομης
λειτουργίας ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων από διαφανή ΦΒ
στοιχεία»



Ομάδα Φοιτητών:

ΦΡΑΓΚΟΥΛΙΑ ΘΕΟΦΑΝΙΑ
7072

ΑΡΩΝΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ 7021

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ

ΠΑΤΡΑ, 2019

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο. 1

| | |
|--|----|
| Πρόλογος..... | 6 |
| 1.1 Συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία..... | 7 |
| 1.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο..... | 10 |
| 1.3 Αγωγιμότητα υλικών..... | 11 |
| 1.3.1 Ζώνες ενέργειας..... | 12 |
| 1.4 Εξέλιξη τεχνολογίας φωτοβολταϊκών συστημάτων..... | 15 |
| 1.5 Φωτοβολταϊκό σύστημα και κατηγορίες..... | 20 |
| 1.6 Πλεονεκτήματα-Μειονεκτήματα φ/β συστημάτων..... | 27 |
| 1.7 Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων..... | 28 |
| 1.7.1 Μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία..... | 30 |
| 1.7.2 Πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία..... | 31 |
| 1.7.3 Φωτοβολταϊκά στοιχεία Λεπτού Υμενίου..... | 32 |
| 1.7.4 Άλλες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών υλικών..... | 34 |
| 1.8 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και συνδεσμολογίες φωτοβολταϊκών..... | 35 |

Κεφάλαιο. 2

| | |
|--|----|
| 2.1 Εκμετάλλευση φυσικού φωτισμού-προσανατολισμός κτιρίου..... | 37 |
| 2.2 Εισαγωγή στα Ηλεκτροχρωμικά παράθυρα..... | 38 |
| 2.2.1 Οξείδιο του βολφραμίου..... | 41 |
| 2.2.2 Άλλα ηλεκτροχρωμικά μεταλλικά οξείδια..... | 42 |
| 2.2.3 Οξείδιο του Νικελίου..... | 42 |
| 2.2.4 Οξείδιο του Ιριδίου..... | 42 |
| 2.2.5 Οξείδιο του Νιοβίου..... | 43 |

| | |
|---|----|
| 2.2.6 Αεροχρωματικές Συσκευές..... | 43 |
| 2.2.7 Αεροχρωματικά Παράθυρα με βάση το βολφράμιο..... | 44 |
| Κεφάλαιο. 3 | |
| 3.1 Ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών στα κτίρια και πλεονεκτήματα των ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών..... | 46 |
| 3.2 Τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας..... | 48 |
| 3.3 Μορφές φωτοβολταϊκών στοιχείων για ενσωμάτωση στα κτίρια..... | 49 |
| 3.4 Διαφανές φωτοβολταϊκό παράθυρο και η τεχνολογία φωτοβολταϊκών DSCs..... | 49 |
| 3.4.1 Οξείδιο του τιτανίου και οι κρυσταλλικές του φάσεις..... | 53 |
| 3.4.2 Τεχνικές εναποθέσεις ημιαγωγού..... | 55 |
| 3.4.3 Ευαισθητοποιητές που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά τύπου DSCs..... | 60 |
| 3.4.4 Ηλεκτρολύτης..... | 63 |
| 3.5 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών στοιχείων στα κτήρια..... | 64 |
| 3.6 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα ενσωμάτωσης ηλεκτροχρωμικών στοιχείων στα κτίρια..... | 65 |
| Κεφάλαιο. 4 | |
| 4.1 Πειραματική Διαδικασία..... | 67 |
| Βιβλιογραφία..... | 89 |

Συντομογραφίες:

| | |
|-------------|---------------------------------------|
| DSSC ή DSCs | Dye sensitized solar cells |
| FTO | Fluorine doped tin oxide |
| IPCE | Incident photon to current efficiency |
| BIPV | Building integrated photovoltaics |
| BAPV | Building applied photovoltaic system |
| Pt | Platinum |
| Jsc | Short circuit current density |
| Voc | Open circuit voltage |
| FF | Fill factor |
| HOMO | Highest occupied molecular orbital |
| LUMO | Lowest unoccupied molecular orbital |

Πρόλογος

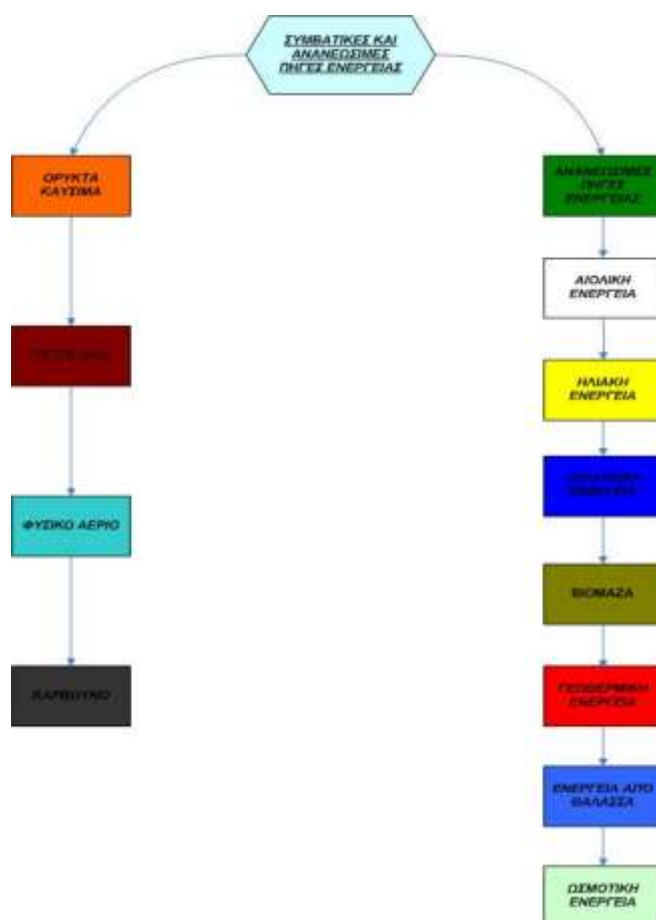
Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την εκμετάλλευση ηλιακής ακτινοβολίας με χρήση διάφανων φωτοβολταϊκών για τη λειτουργία ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων και για την εξοικονόμηση ενέργειας στις διάφορες εφαρμογές τους. Συνήθως η εγκατάσταση των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων γίνεται σε μεγάλα κτήρια- επιχειρήσεις καθώς και σε μέσα μεταφοράς. Για τη λειτουργία τους θα χρησιμοποιήσουμε φωτοβολταϊκά τεχνολογίας Dye Sensitized Solar Cells (DSCs), τα οποία είναι πιο οικονομικά συγκριτικά με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πυριτίου (Si), τα οποία χρησιμοποιούνται στο μεγαλύτερο πλήθος των εφαρμογών. Θα εξεταστούν διάφορες δυνατές συνδεσμολογίες και θα δοθεί έμφαση στη βελτιστοποιημένη λειτουργία των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1.1 Συμβατικές και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Από τις αρχές του περασμένου αιώνα ξεκίνησε η κατανάλωση μεγάλων ποσών ενέργειας, με αποτέλεσμα να μειωθούν οι διαθέσιμοι πόροι των ορυκτών καυσίμων, προμηθύνοντας την εξάντλησή τους σε μερικά χρόνια. Έτσι η ανάγκη για ενέργεια που έχει η ανθρωπότητα στην καθημερινότητά της, ώθησε τους επιστήμονες να στραφούν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας πέρα από τις συμβατικές μορφές ενέργειας. Συγκεκριμένα ως συμβατικές μορφές ενέργειας ονομάζουμε τα ορυκτά καύσιμα και ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούνται οι μορφές ενέργειας που κατά βάση είναι ανεξάντλητες.



Εικ. 1.1: Τα είδη των συμβατικών πηγών ενέργειας που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Δεξιά βλέπουμε τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αριστερά τα ορυκτά καύσιμα που είναι ακόμη η κύρια πηγή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα.

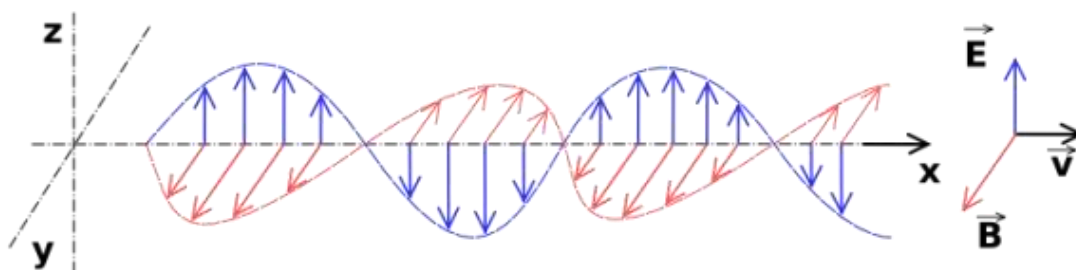
Με βάση τα παραπάνω οι κυβερνήσεις αναγκάστηκαν να προγραμματίσουν κάποιες διασκέψεις, όπου αντιπρόσωποι από διάφορες χώρες ήρθαν αντιμέτωποι με κάποιες αποφάσεις για το μέλλον του πλανήτη.

Οι διακρατικές διασκέψεις ήταν οι παρακάτω:

- στο Ρίο της Βραζιλίας το 1992
- στο Κιότο της Ιαπωνίας το 1997
- στη Χάγη της Ολλανδίας το 2001
- στη Βόννη της Γερμανίας το 2002
- στο Γιοχάνεσμπουργκ το 2003

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Ο ήλιος ο αστέρας του ηλιακού μας συστήματος μας προσφέρει μεγάλα ποσά ενέργειας καθημερινά. Η ενέργεια αυτή είναι ηλεκτρομαγνητική, δηλαδή συνδυασμός ηλεκτρικού και μαγνητικού κύματος και τα 2 αυτά προσανατολίζονται προς κάποια κατεύθυνση δημιουργώντας μια δέσμη φωτεινής ενέργειας όπου ονομάζεται φωτόνιο.



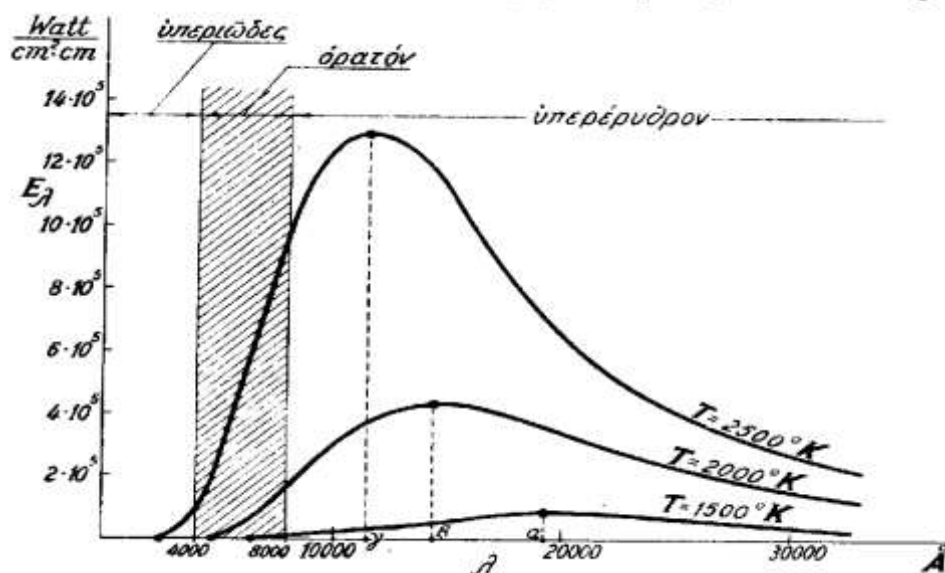
Εικ. 1.2: Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, κατεύθυνση ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, με το μπλε χρώμα είναι το ηλεκτρικό πεδίο και με το κόκκινο είναι το μαγνητικό.

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%AF%CE%B1#/media/%CE%91%CF%81%CF%87%CE%B5%CE%AF%CE%BF:Onde_electromagnetique.svg

Τα φωτόνια ταξιδεύουν στο σύμπαν και μετά καταλήγουν στην επιφάνεια της με ταχύτητα 299.792.458 m/s. Βέβαια κάθε σώμα εκπέμπει κάποια ακτινοβολία, όμως όπως μπορούμε να αντιληφθούμε δεν παράγουν όλα τα σώματα τα ίδια ποσά ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, κάποια παρέχουν μεγαλύτερα και άλλα μικρότερα. Εμπειρικά και μόνο αν σκεφτούμε η θερμοκρασία είναι ένας παράγοντας που μας δείχνει ποια σώματα παράγουν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας, η ακόμη καλύτερα πυκνότητα ισχύος ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, άλλα χαρακτηριστικά που σχετίζεται με την εκπομπή αυτή είναι το μήκος κύματος και η φύση του υλικού. Για να μπορέσουμε να περιγράψουμε το φαινόμενο αυτό χρησιμοποιούμε το μέλαν σώμα, όπου έχει τέλεια χαρακτηριστικά ως προς την απορρόφηση και την εκπομπή της ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολίας.

Το μέλαν σώμα εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε συγκεκριμένα μήκη κύματος όπου εξαρτώνται άμεσα από την θερμοκρασία του σώματος. Ο Planck διατύπωσε την μια σχέση για την περιγραφή της πυκνότητας της ισχύος E_{λ} .

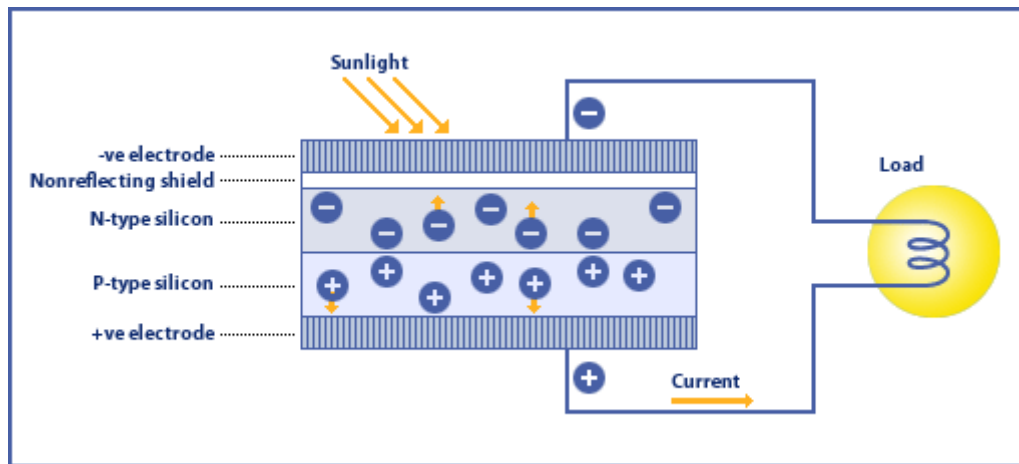
$$E = \frac{3,74 \cdot 10^8}{\lambda^5 \left[e^{\frac{1440}{\lambda T}} - 1 \right]}$$



Εικ. 1.3: Βλέπουμε τις γραφικές παραστάσεις της συνάρτησης του Planck για διάφορες θερμοκρασίες που αναγράφονται σε κάθε μία. Βλέπουμε που επικρατεί η μέγιστη εκπομπή πυκνότητα ισχύος ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολίας σε σχέση με το μήκος κύματος λ .

1.2 Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

Αφού αναλύσαμε παραπάνω τη θεωρία για τις ανανεώσιμες και μη πηγές ενέργειας, κρίνεται αξιόλογο να αναφερθούμε και στο πώς επηρεάζεται το φωτοβολταϊκό από το ρεύμα. Ως φωτοβολταϊκό φαινόμενο ορίζεται η φυσική διαδικασία κατά την οποία ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο ή στοιχείο (pn cell) μετατρέπει το ηλιακό φως σε ηλεκτρική ενέργεια. Το ηλιακό φως αποτελείται από φωτόνια, με απλά λόγια πακέτα ηλιακής ενέργειας. Τα φωτόνια περιέχουν διάφορα ποσά ενέργειας τα οποία αντιστοιχούν στα διάφορα μήκη κύματος του φάσματος της ηλιακής ακτινοβολίας. Όταν τα φωτόνια προσπίπτουν σε ένα φωτοβολταϊκό κύτταρο, θα ανακλαστούν αλλιώς θα απορροφηθούν ή θα το διαπεράσουν. Όσα από αυτά απορροφώνται αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια του φωτοβολταϊκού κυττάρου να μετακινηθούν και έτσι παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα. Στα σύγχρονα φωτοβολταϊκά κύτταρα τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι οι ημιαγωγοί και το πυρίτιο. Υπάρχουν δύο τύποι ημιαγωγών: α) οι ημιαγωγοί τύπου-N (type-N), στους οποίους υπάρχουν πολλά ηλεκτρόνια σχεδόν ελεύθερα, β) οι ημιαγωγοί τύπου-Π (type-P) στους οποίους υπάρχουν πολλές ελεύθερες οπές - λέγονται οπές γιατί τα ηλεκτρόνια έχουν "αφήσει" τις θέσεις τους, για αυτό το λόγο οι ημιαγωγοί τύπου-Π έχουν θετικό φορτίο. Όταν ένα φωτόνιο χτυπάει έναν ημιαγωγό τύπου-N το ηλεκτρόνιο φεύγει από την αρχική του θέση και επειδή έχει αρνητικό φορτίο έλκεται από το θετικό φορτίο το οποίο είναι συγκεντρωμένο στον ημιαγωγό τύπου-Π. Λόγω του υλικού που υπάρχει ανάμεσα στους ημιαγωγούς τύπου-N και τύπου-Π η διέλευση από τη μια μεριά στην άλλη είναι μέσω του εξωτερικού φορτίου. Επομένως, έχουμε την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 και χρησιμοποιήθηκε για στα τέλη της δεκαετίας του '50 σε διαστημικές εφαρμογές. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Ένα τυπικό Φ/Β σύστημα αποτελείται από το Φ/Β πλαίσιο ή ηλιακή γεννήτρια ρεύματος και τα ηλεκτρονικά συστήματα που διαχειρίζονται την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη Φ/Β συστοιχία. Για αυτόνομα συστήματα υπάρχει επίσης το σύστημα αποθήκευσης ενέργειας σε μπαταρίες.



Εικ. 1.4: Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο: Μετατροπή ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική

1.3 Αγωγιμότητα υλικών

Τα υλικά παρουσιάζουν κάποιες συγκεκριμένες συμπεριφορές όταν σε αυτά εφαρμόζεται τάση, εάν για παράδειγμα σε ένα υλικό εφαρμόσουμε κάποια τάση , αυτό όμως δεν διέρχεται από κάποιο ηλεκτρικό ρεύμα, εμείς αυξάνοντας την τάση δεν παρατηρούμε να διέρχεται κάποιο ηλεκτρικό ρεύμα τότε έχουμε να κάνουμε με έναν μονωτή. Δηλαδή η συμπεριφορά των υλικών κάτω από την επίδραση ηλεκτρικού ρεύματος καθορίζει σε ποια κατηγορία θα μπει κάποιο υλικό.

Κατηγορίες υλικών:

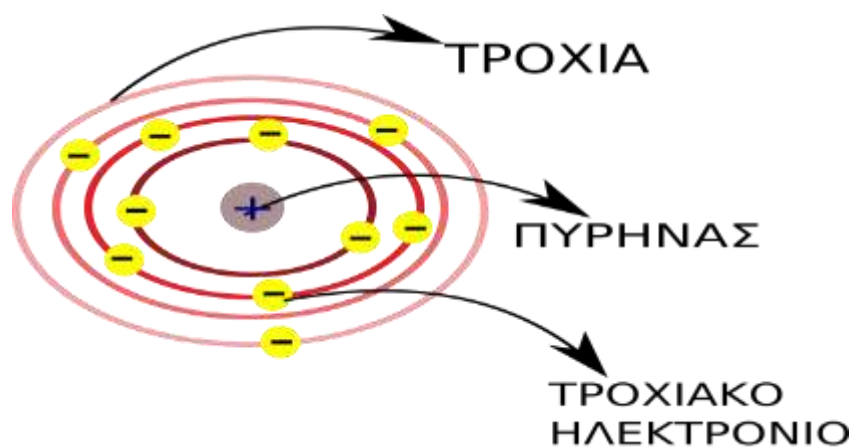
- Αγωγοί
- Μονωτές
- Ημιαγωγοί

Ένα υλικό χωρίζεται σε κάποιες ζώνες ενέργειας όπου αυτές μπορεί να περιέχουν ηλεκτρόνια η και όχι. Τα ηλεκτρόνια είναι αυτά που θα καθορίσουν τις ηλεκτρονικές ιδιότητες ενός υλικού. Εάν αυτά είναι πολύ δύσκολο να σπάσουν τους δεσμούς τους από τα άτομα τότε η ηλεκτρική αγωγιμότητά τους δεν είναι καλή και κατατάσσονται στους μονωτές, δηλαδή η ηλεκτρική τους αντίσταση ανά μέτρο του υλικού είναι πολύ μεγάλη σε αντίθεση με τους αγωγούς όπου η ηλεκτρική τους αντίσταση είναι μικρή και αυτό γιατί τα ηλεκτρόνια είναι πιο εύκολο να σπάσουν τους δεσμούς τους με τα

ιόντα και να μεταπηδήσουν σε κάποια άλλη ζώνη ενέργειας. Ανάμεσα στους μονωτές και τους αγωγούς έχουμε τους ημιαγωγούς, η ηλεκτρική τους αντίσταση είναι μικρότερη των μονωτών και μεγαλύτερη από των αγωγών. Οι ημιαγωγοί μας αφορούν σε μεγάλο βαθμό στην παρούσα πτυχιακή και έτσι θα αναφερθούμε εκτενώς.

1.3.1 Ζώνες ενέργειας

Η παρακάτω εικόνα μας δείχνει το ατομικό πρότυπο του Bohr. Η κβαντομηχανική έχει καταρρίψει την συγκεκριμένη θεωρία και οι θέσεις των ηλεκτρονίων δεν είναι γνωστές στο υλικό μας, όμως το ατομικό πρότυπο του Bohr βοηθάει αρκετά να κατανοήσουμε πως κινούνται τα ηλεκτρόνια ανάμεσα στις ζώνες ενέργειας ή ζώνες Brillouin. Βλέπουμε ότι τα ηλεκτρόνια έχουν κίτρινο χρώμα και κινούνται στις τροχιές, επίσης έχουν αρνητικό φορτίο ο πυρήνας έχει θετικό και για αυτό συγκρατούνται στις τροχιές οι δυνάμεις που τα συγκρατούν με τον πυρήνα λέγονται ηλεκτροστατικές δυνάμεις Coulomb (Charles Augustin de Coulomb)



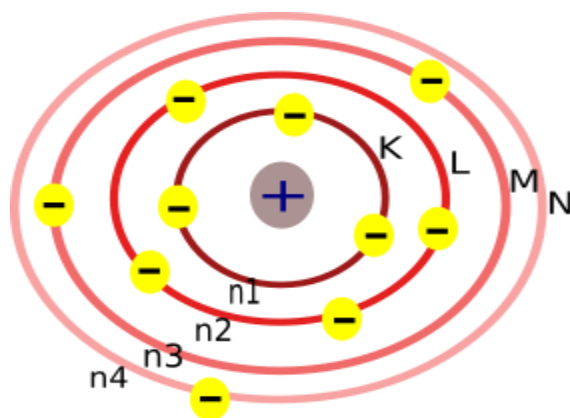
Εικ. 1.5: Ηλεκτρόνια στις ζώνες Brillouin

Η δύναμη που αναπτύσσεται μεταξύ των ηλεκτρονίου και του πυρήνα έχει μέτρο:

$F = \frac{1|Qq|}{4\pi\epsilon_0 r^2}$, όπου Q,q τα φορτία(πυρήνας,ηλεκτρόνιο), ϵ_0 διηλεκτρική σταθερά του κενού και τέλος r^2 απόσταση που έχουν τα 2 αυτά φορτία.

Οι τροχιές που κυκλοφορούν τα ηλεκτρόνια για να μπορούν να ξεχωρίσουν καθορίζονται από κύριο κβαντικό αριθμό τιμές που μπορεί να πάρει είναι ακέραιες

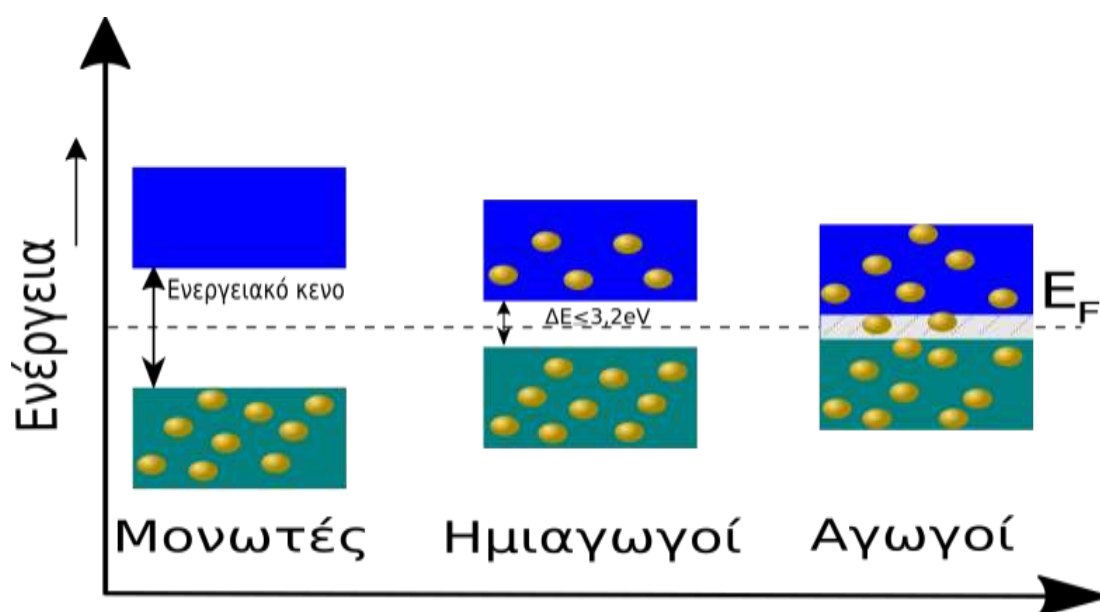
τιμές $n=1,2,3,4\dots$, η κάθε τροχιά έχει συγκεκριμένη ενέργεια. Όπως απεικονίζεται στην φωτογραφία η αρίθμηση ξεκινάει από τις τροχιές που βρίσκονται κοντά στον πυρήνα και προς τα έξω, επίσης κάτι άλλο που χαρακτηρίζει τις τροχιές είναι πως ονομάζονται και με τα γράμματα που φαίνονται στο σχήμα. Ουσιαστικά ο κύριος κβαντικός αριθμός και οι ονομασίες των τροχιών είναι για να μας δείχνουν πόσο μακριά βρίσκεται ένα ηλεκτρόνιο από τον πυρήνα. Επίσης έχουμε και έναν δευτερεύον κβαντικό αριθμό που έχει σχέση με το ηλεκτρόνιο και ειδικότερα με την στροφορμή του ως προς την τροχιά του. Αυτός είναι, $l=0,1,2,3,\dots n-1$, $l=s,p,d,f\dots$ δηλαδή μπορεί να έχει την μορφή s, p, d, f .



Εικ. 1.6: Ονομασίες για κάθε τροχιά ηλεκτρονίων

Όπως αναφέραμε δεν μπορούμε να γνωρίζουμε την ακριβή θέση των ηλεκτρονίων, ο Heisenberg διατύπωσε την αρχή της απροσδιοριστίας ,δηλαδή δεν μπορούμε ποτέ με απόλυτη ακρίβεια να εντοπίσουμε την θέση ενός ηλεκτρονίου σε ένα υλικό, όμως είναι πολύ σημαντικό να μελετήσουμε τα ενεργειακά επίπεδα και πώς τα ηλεκτρόνια μεταπηδούν από το ένα στο άλλο. Τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται πιο κοντά στον πυρήνα αν δούμε την εξίσωση του Coulomb $F = \frac{1|Qq|}{4\pi\epsilon_0 r^2}$ θα δούμε πως το μέτρο της δύναμης που ασκείται ανάμεσα στα 2 φορτία(πυρήνας –ηλεκτρόνιο)αυξάνεται με την μείωση της απόστασής τους, τα ηλεκτρόνια που είναι ισχυρά δεμένα με τον πυρήνα λέγονται εσωτερικά ηλεκτρόνια, ενώ τα ηλεκτρόνια που δεν συγκρατούνται ισχυρά από τις δυνάμεις Coulomb λέγονται ηλεκτρόνια σθένους. Όταν κάποια μόρια φτάσουν στο σημείο να ενωθούν με κάποιο χημικό δεσμό, από την ένωση αυτή δημιουργούνται κάποια ενεργειακά επίπεδα όπου τα ηλεκτρόνια ανάλογα με την

ενέργειά τους καταλαμβάνουν τα ενεργειακά επίπεδα που πρέπει σύμφωνα με την απαγορευτική αρχή του Pauli ,δηλαδή είναι σαν τα μόρια να πέφτει το ένα πάνω στο άλλο και να μπερδεύονται τα ενεργειακά τους επίπεδα. Τα ηλεκτρόνια αν αποκτούν ή χάνουν ενέργεια μπορούν να αλλάζουν ενεργειακά επίπεδα, αν αυτό τους το επιτρέπουν τα ενεργειακά χάσματα. Τα ενεργειακά χάσματα είναι σημεία όπου είναι κενά από ζώνες ενέργειας και εκεί δεν μπορούν να υπάρξουν ηλεκτρόνια, το μόνο που μπορούν να κάνουν είναι να αποκτήσουν αρκετή ενέργεια για να τα μεταπηδήσουν. Αν για παράδειγμα έχουμε μεγάλα ενεργειακά χάσματα τα ηλεκτρόνια μένουν δεν μπορούν να αποκτήσουν όση ενέργεια χρειάζεται και δεν περνάνε σε άλλο ενεργειακό επίπεδο με αποτέλεσμα να μην έχουμε ροή ηλεκτρονίων και κατά συνέπεια να μην υπάρχει ροή ρεύματος ,δηλαδή σε αυτή την περίπτωση έχουμε έναν μονωτή. Αντίθετα στους αγωγούς τα ενεργειακά χάσματα είναι πολύ μικρότερα όπως αντιλαμβανόμαστε. Οι ημιαγωγοί παρουσιάζουν μικρότερα ενεργειακά χάσματα από τους μονωτές.



Εικ. 1.7: Σχηματική απεικόνιση επιπέδων ενέργειας στα υλικά και κίνηση ηλεκτρονίων μέσα σε αυτά.

Στην εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε E_F όπου είναι το επίπεδο Fermi, στους 0K είναι το επίπεδο αυτό περιέχει τους περισσότερους φορείς του φορτίου, η ενέργεια τους είναι ίση με E_F . Κυρίως η ενέργεια Fermi έχει να κάνει με την κίνηση των ηλεκτρονίων και η αύξηση της θερμοκρασίας πάνω στο υλικό κατά την διάρκεια όπου αυτό βρίσκεται σε αγωγή δίνει την δυνατότητα σε περισσότερα ηλεκτρόνια να ξεπεράσουν την ενέργεια Fermi.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αποτελούνται από ημιαγωγούς και μας ενδιαφέρει ο τρόπος λειτουργίας τους, οι ημιαγωγοί είναι υλικά που έχουν κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που τα καθιστούν κατάλληλα για τη χρήση τους σε τέτοιες εφαρμογές. Οι πιο διαδεδομένοι ημιαγωγοί στον χώρο των ηλεκτρονικών είναι το Si και το Ge.

Ενδογενείς Ημιαγωγοί: Είναι κρύσταλλοι Si και Ge υψηλής καθαρότητας. Βασικό χαρακτηριστικό αυτού του είδους ημιαγωγών είναι η μεταβολή της αγωγιμότητας του με τη θερμοκρασία.

Εξωγενείς Ημιαγωγοί: Είναι στερεά διαλύματα υποκατάστασης με προσθήκη πρόσμειξης στοιχείου της III ή V ομάδας του περιοδικού πίνακα σε κρυστάλλους Si και Ge υψηλής καθαρότητας. Διαχωρίζονται σε:

- Ημιαγωγούς τύπου- n
- Ημιαγωγούς τύπου-p

1.4 Εξέλιξη τεχνολογίας φωτοβολταϊκών συστημάτων

- Selenium cells

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο 19χρονος φυσικός Admond Becquerel έκανε μια μεγάλη προσφορά στην επιστημονική κοινότητα, όχι όμως στην επιστημονική κοινότητα της εποχής του αφού δεν μπορούσαν να βρουν κάποια πρακτική εφαρμογή του φαινομένου αυτού, αλλά στις νέες γενιές επιστημόνων. Αφού πέρασαν μερικές δεκαετίες το 1876 η Siemens φτιάχνει το πρώτο selenium cell.



Εικ. 1.8: Selenium cell

http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Electricity/Selenium_Cell/Selenium_Cell.html<https://www.beil-labs.com/timeline/#/2010/1/closed/>

Τα selenium cells, έχουν την δυνατότητα να παράγουν ή και να ελέγχουν ένα ηλεκτρικό ρεύμα, ο Smith πρώτος ανακάλυψε ότι η ειδική του αντίσταση ήταν συνάρτηση της έντασης ακτινοβολίας που προσπίπτει πάνω του. Στην παραπάνω εικόνα η ακτινοβολία προσπίπτει πάνω σε λιωμένο σελήνιο ,από κάτω του αυτό έχει ένα φύλλο από μίκα. Ένα μεγάλο μειονέκτημα, ήταν ότι χρειαζόνταν μεγάλες επιφάνειες από σελήνιο ,και αυτό γιατί η φωτοαγωγιμότητα είναι ένα επιφανειακό φαινόμενο. Αργότερα ο Charles Fritz το 1883 έφτιαξε ένα ΦΒ στοιχείο με απόδοση 1% μέχρι και 2%.

- Φωτοβολταϊκά στοιχεία από πυρίτιο

Το 1787, ο χημικός Αντουάν Λωράν Λαβουαζιέ ανακάλυψε ένα χημικό στοιχείο, αυτό ήταν το οξείδιο του πυριτίου SiO_2 , έπειτα άλλοι επιστήμονες κατάφεραν να απομονώσουν το πυρίτιο από τα μόρια του οξυγόνου. Αργότερα το 1918 ο Πολωνός χημικός Jan Czochralski δημιούργησε για πρώτη φορά ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

- Φωτοβολταϊκά στοιχεία με μεγαλύτερες αποδόσεις

Η εταιρεία Bell , μια εταιρεία με μεγάλη ιστορία στον τομέα των ευρεσιτεχνιών το 1954 κατασκευάζει το πρώτο φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 6%. Το βασικό στοιχείο τους ήταν δίσκοι από πυρίτιο(silicon disc), η προσπίπτουσα από τον ήλιο ακτινοβολία με την βοήθεια των δίσκων μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Το πρώτο φωτοβολταϊκό πλαίσιο που έφτιαξαν αποτελούνταν από 432 δίσκους πυριτίου διατεταγμένα σε 48 στοιχεία αποτελούμενα από 9 δίσκους το κάθε ένα.



Εικ. 1.9: Το πρώτο φωτοβολταϊκό πλαίσιο από την Bell, εδώ βλέπουμε τα στοιχεία και του δίσκους πυριτίου μέσα στο κάθε ένα. Το πλαίσιο είναι τοποθετημένο σε τηλεφωνικό στύλο.

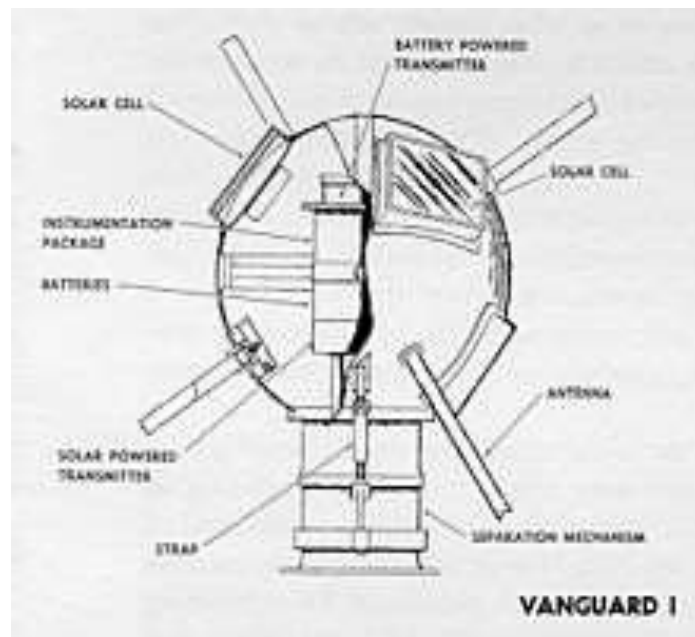
http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Electricity/Selenium_Cell/Selenium_Cell.html<https://www.bell-labs.com/timeline/#/2010/1/closed/>

Με την πάροδο του χρόνου σημειώθηκαν επιτυχίες στην αύξηση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων:

- 1954 απόδοση 8%,
 - 1959 απόδοση 10% και
 - 1960 απόδοση 14%
- Τεχνητός δορυφόρος τροφοδοτούμενος από φωτοβολταϊκά

Έχοντας εκτοξεύσει ήδη 3 τεχνητούς δορυφόρους τους : Sputnik 1 , Sputnik 2 και Explorer 1, το 1958 η Ηνωμένες πολιτείες της Αμερικής αποφασίζουν να στείλουν για το ταξίδι του γύρω από την τροχιά της γης έναν ακόμη δορυφόρο τον Vanguard I , αυτός όμως δεν ήταν σαν του προηγούμενους δορυφόρους όπου είχαν σταλεί γύρω

από την τροχιά της γης, μπορούσε με την βοήθεια φωτοβολταϊκών να μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική.



Εικ. 1.10: Τεχνητός δορυφόρος Vanguard 1

https://en.wikipedia.org/wiki/Vanguard_1#/media/File:Vanguard_1_satellite_sketch.jpg

Εδώ φαίνονται τα στοιχεία που αποτελείται ο τεχνητός δορυφόρος.

Τα φωτοβολταϊκά αυτά χρησίμευαν για να λειτουργεί ένας εκπομπός συχνότητας 108,03 (MHz).

Επίσης το 1959 εκτοξεύονται 2 ακόμη τεχνητοί δορυφόροι που χρησιμοποιούσαν φωτοβολταϊκά για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική, αυτοί είναι οι: explorer VI(6) , explorer VII(7)

- Εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστοιχιών

Το 1963 , πρώτη η Ιαπωνία εγκαθιστά σε έναν φάρο μια συστοιχία φωτοβολταϊκών της τάξης των 242 (W) η μεγαλύτερη για την εποχή εκείνη. Αργότερα στην Γαλλία το 1972 τοποθετήθηκε σε ένα σχολείο μια συστοιχία φωτοβολταϊκών.

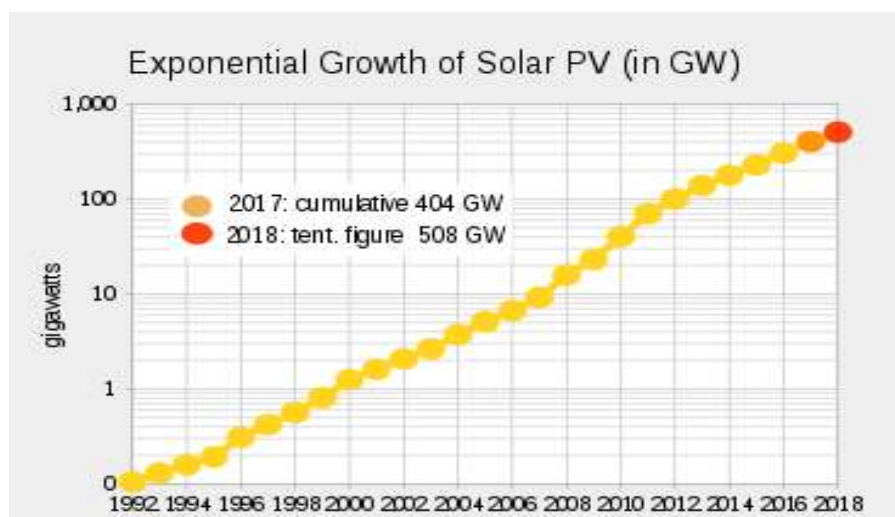
- Από τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες στα φωτοβολταϊκά πάρκα

Το πρώτο φωτοβολταϊκό πάρκο εγκαταστάθηκε στις Ηνωμένες πολιτείες της Αμερικής στην California το 1982 με εγκατεστημένη ισχύς 1 (MW)

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά ανά τον κόσμο

- Το 1977 , η παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς των φωτοβολταϊκών ξεπερνά τα 500(kW).
- Το 1983 ξεπερνάει τα 21,3(MW)
- Το 1999 έφτασε το 1(GW)

Καθώς τα χρόνια πέρασαν η ανάγκη για ηλεκτρική ενέργεια αυξανόταν , έτσι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς έφτασε να είναι το 2018 508(GW) ,



Εικ. 1.11: Παρατηρούμε την ραγδαία αύξησης της εγκατεστημένης ισχύς των φωτοβολταϊκών.

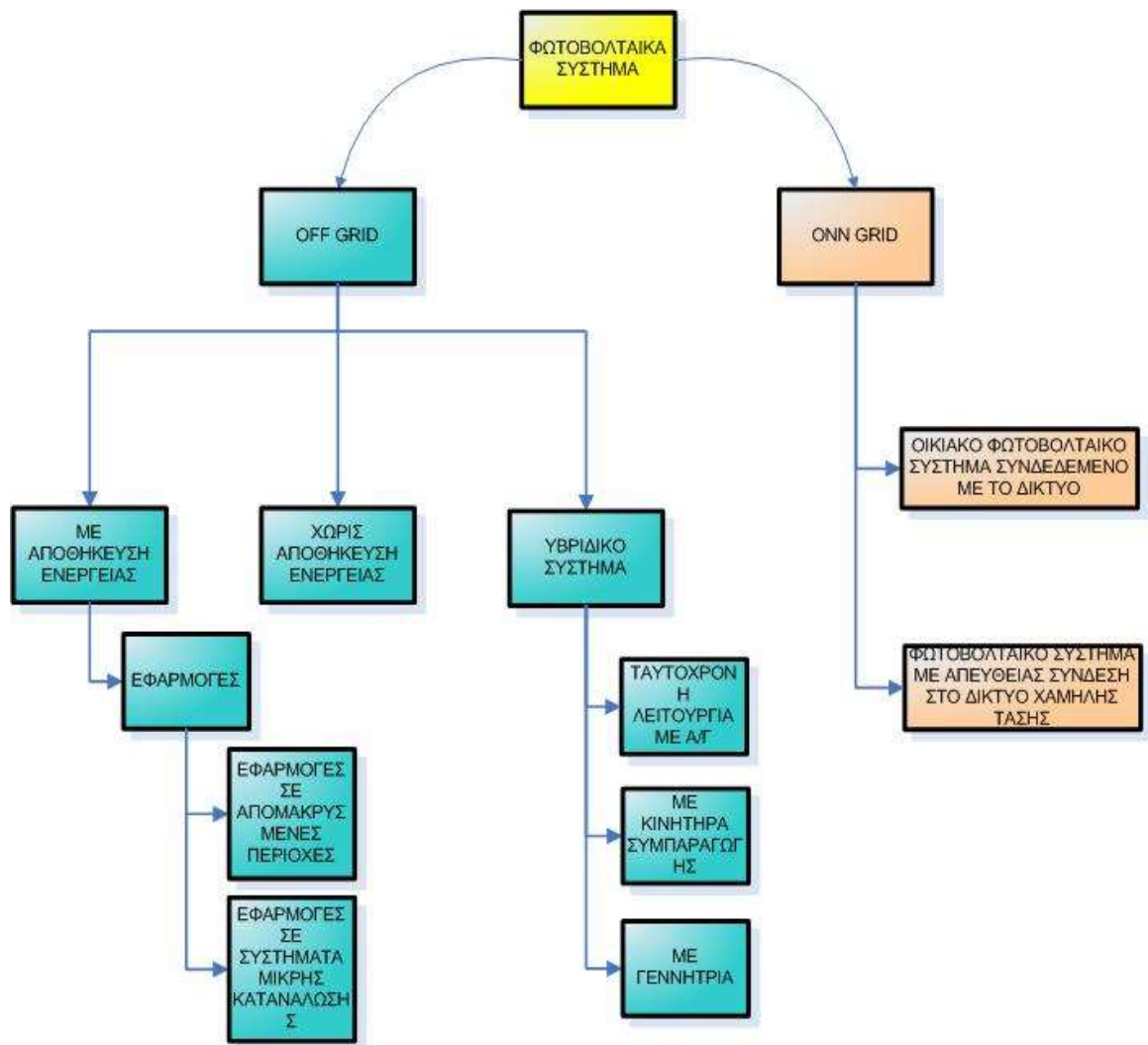
https://en.wikipedia.org/wiki/Vanguard_1#/media/File:Vanguard_1_satellite_sketch.jpg

- Εξέλιξη φωτοβολταϊκών στοιχείων διαφορετικής τεχνολογίας

Το 1988 έγινε μια σημαντική παρατήρηση από τους N. Vlachopoulos, P. Liska, J. Augustynski και M. Grätzel, J. Ανακάλυψαν πως μπορούσαν να παράξουν ηλεκτρική ενέργεια από ηλεκτρόδια ηλεκτρόδια ευαισθητοποιημένα με χρωστική , τα ηλεκτρόδια αυτά είχαν έναν ημιαγωγό (TiO₂) και τα είχαν εμβαπτίσει με ηλεκτρολύτη, οι πρώτες όμως προσπάθειες ήταν ανεπιτυχής .Το 1991 ο B. O'Regan και ο M. Grätzel, έκαναν μια δημοσίευση στο περιοδικό Nature κατάφεραν να βελτιώσουν την απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

1.5 Φωτοβολταϊκό σύστημα και κατηγορίες

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα χωρίζονται σε 2 κατηγορίες on grid και off grid.Τα on grid συστήματα έχουν να κάνουν με τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες κυρίως όπου συνδέονται με το δίκτυο , είτε αυτό είναι οικιακό η διανομής . Τώρα τα συστήματα off grid είναι αυτόνομα συστήματα (stand-alone systems) , όπου εγκαθίστανται σε εφαρμογές που μπορεί και να μην έχουν άλλη πηγή ενέργειας.



Εικ. 1.12: Πλέον υπάρχουν αρκετές κατηγορίες φωτοβολταϊκών συστημάτων όπως παρατηρούμε κάποιες συνδεδεμένες με το δίκτυο και άλλες όχι ανάλογα την χρήση τους.

Συγκεκριμένα τα απομονωμένα ή εκτός δικτύου φ/β συστήματα, διακρίνονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες: α) Αυτόματα Φ/Β συστήματα. β) Υβριδικά Φ/Β συστήματα.

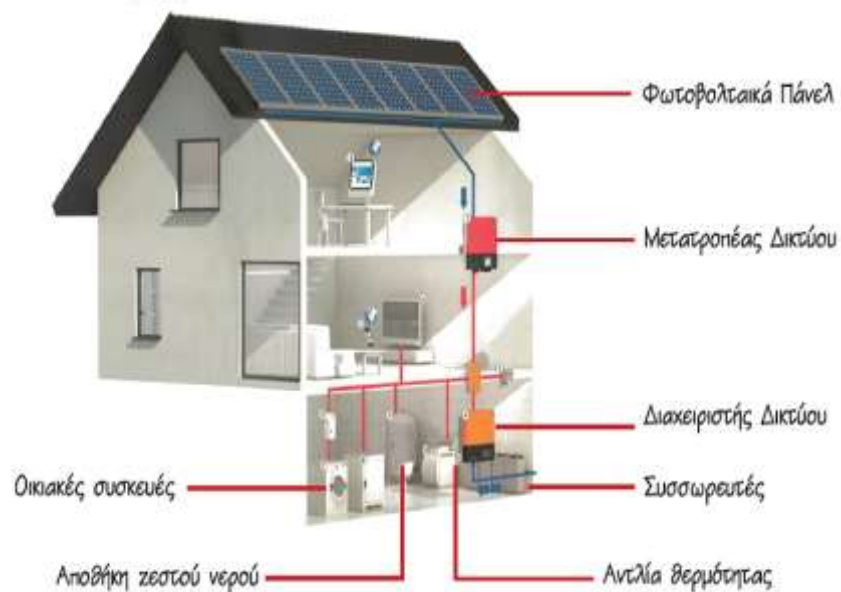
Αυτόνομα Φ/Β Συστήματα

Στα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα η αναγκαία ηλεκτρική ενέργεια παράγεται αποκλειστικά από Φ/Β συστοιχίες. Η παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι άμεση στους καταναλωτές ή μέσω συσσωρευτών. Επίσης, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να είναι συνεχούς (DC) ή εναλλασσόμενης τάσης (AC). Σύμφωνα με τα παραπάνω υπάρχει διάκριση των αυτόνομων συστημάτων ως εξής:

1. Άμεσης τροφοδοσίας του φορτίου (Direct-coupled): Στα συγκεκριμένα

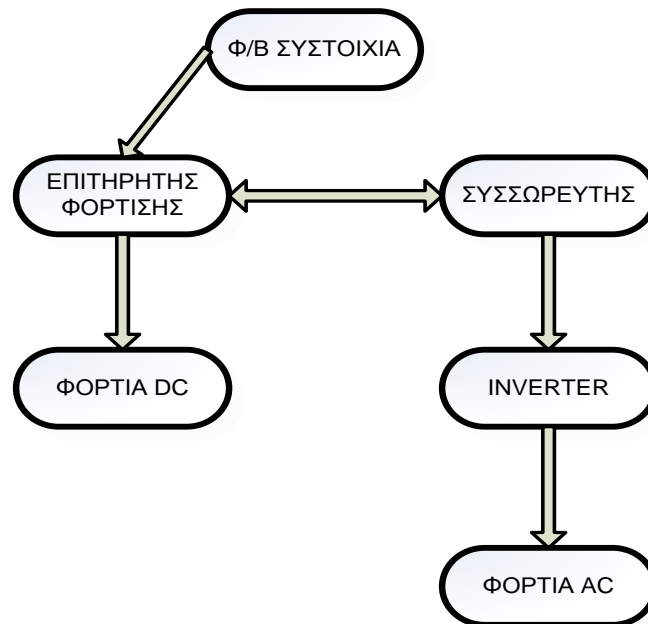
συστήματα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται απευθείας στο φορτίο και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές στις οποίες δεν απαιτείται τακτική λειτουργία του συστήματος καθώς και σε φορτία συνεχούς ρεύματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα συστήματα άντλησης νερού.

2. Με αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας: Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν συσσωρευτές για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Σχεδιάζονται σύμφωνα με τις επιθυμητές μέρες αυτονομίας πράγμα το οποίο καθορίζει το μέγεθος των συσσωρευτών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν τα Φ/Β συστήματα τροφοδοσίας φωτισμού οδών, διατάξεων πυρανίχνευσης δασικών εκτάσεων, τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού σε δύσβατες περιοχές, τροχόσπιτων και φάρων σε θαλάσσιες περιοχές.



Εικ:1.13 Αυτόνομο φ/β σύστημα

https://www.google.com/search?q=%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%BF+%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%BF+%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1&rlz=1C1GCEA_enGR867GR867&sxsrf=ACYBGNQWzas1q5BbchX8if5RLC54gIRm5Q:1571773700619&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiizt6o0bDIAhWGxosKHVanBNEQ_AUIEigB&biw=1536&bih=754#imgrc=URUdfSIYIldNJM:



Σχήμα: 1.14 Σχηματική αναπαράσταση αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος

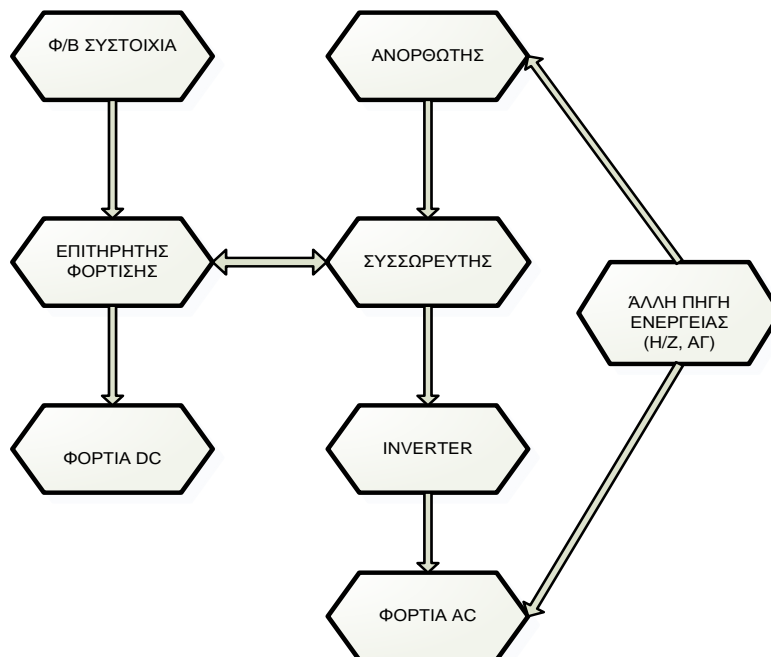
Υβριδικά Φ/Β Συστήματα

Όταν η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν καλύπτεται από τη Φ/Β συστοιχία σε αυτόνομα Φ/Β συστήματα τότε χρησιμοποιείται ο συνδυασμός της με κάποια άλλη πηγή ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοιες πηγές μπορεί να είναι τα συμβατικά καύσιμα ή οι Α.Π.Ε. Κυρίως χρησιμοποιούνται ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ή ανεμογεννήτριες αντίστοιχα. Συχνά στα συστήματα αυτά προβλέπεται αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας σε συσσωρευτές.



Εικ:1.15 Υβριδικό φ/β σύστημα

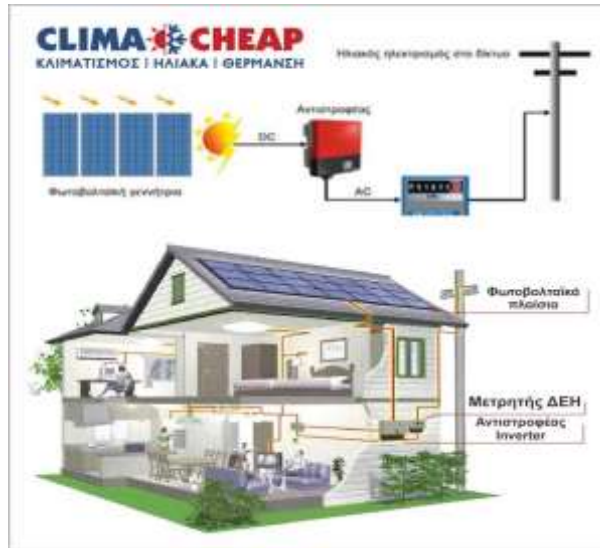
https://www.google.com/search?q=%CF%85%CE%B2%CF%81%CE%B9%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CE%BF+%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%BF+%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1&rlz=1C1GCEA_enGR867GR867&sxsrf=ACYBGNQCzJM4QdParjlfLyU4tq8YyKMXBQ:1571773662110&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjjm7CW0bDIAhVkkIsKHR48An4Q_AUIEigB&biw=1536&bih=754#imgrc=1gfQ81hS3rSBEM:



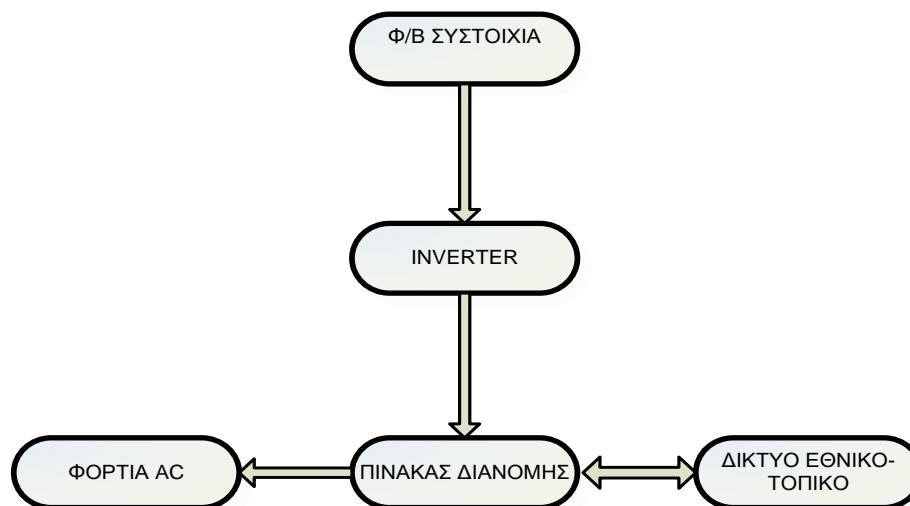
Σχήμα: 1.16 Σχηματική αναπαράσταση υβριδικού φωτοβολταϊκού συστήματος

Φ/Β συστήματα Συνδεδεμένα στο Δίκτυο

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο Φ/Β συστήματα παράγουν το μεγαλύτερο ποσοστό ισχύος των εγκατεστημένων Φ/Β συστημάτων. Είναι συνδεδεμένα σε δίκτυο ηλεκτρικής παροχής αντλώντας από αυτό την ηλεκτρική ισχύ την οποία δε μπορούν να καλύψουν, καθώς δεν είναι απαραίτητη η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Διακρίνονται στα συνδεδεμένα σε δίκτυο ως κατανεμημένα (Distributed) συστήματα και σε εκείνα που συνιστούν κεντρικούς Φ/Β σταθμούς μεγάλης ισχύος όπου η παραγόμενη ισχύς διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο(Centralized systems).



https://www.google.com/search?q=%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CE%B1+%CF%83%CF%85%CE%BD%CE%B4%CE%B5%CE%B4%CE%B5%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%B1+%CF%83%CF%84%CE%BF+%CE%B4%CE%B9%CE%BA%CF%84%CF%85%CE%BF&rlz=1C1GCEA_enGR867GR867&sxsrf=ACYBGNSJE2oW_TbWLSTFaVf9PsRBUW-f8Fg:1571773761389&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwit4dvF0bDIAhXvIYsKHTIkBlwQ_AUIEygC&biw=1536&bih=754&dpr=1.25#imgdli=8XHHQ-WKDrw3M:&imgrc=X6Ce22vTr9sEcM:



Εικ:1.17 Διασυνδεδεμένο φ/β σύστημα

Τα καταναλωμένα συστήματα διακρίνονται σε κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο

αλληλεπίδρασης τους με το δίκτυο σε:

α) Φ/Β συστήματα που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας (Grid back-up): Το σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε να καλύπτει κατά μέσο όρο τις μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Στις περιπτώσεις όπου καθίσταται έκτακτη ενεργειακή ζήτηση ή αστοχία του Φ/Β συστήματος το δίκτυο καλύπτει τη ζήτηση ενέργειας.

β) Φ/Β συστήματα τα οποία λειτουργούν με συνεχή αλληλεπίδραση με το δίκτυο (Grid interactive): Το σύστημα σχεδιάζεται έτσι ώστε να καλύπτει τις μέσες ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Σύμφωνα με το κριτήριο όπου το φ/β σύστημα δεν ανταπεξέλθει στην κάλυψη της ισχύος για την εφαρμογή, τότε η ενέργεια παρέχεται από το δίκτυο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια να είναι ίση με την ενέργεια του δικτύου προς την εφαρμογή (όπου εφαρμογή αποτελεί η ενσωμάτωση συστημάτων σε κτήρια και οικίες).

1.6 Πλεονεκτήματα- Μειονεκτήματα Φ/Β συστημάτων

Τα φ/β συστήματα όπως και οι ΑΠΕ, διαθέτουν κάποια πλεονεκτήματα συγκεκριμένα:

- Τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον: δεν προκαλούνται ρύποι και δεν δημιουργεί απόβλητα.
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει.
- Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής.
- Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη.
- Έχουν σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης και είναι απαλλαγμένα από την ανάγκη επίβλεψης (αρκεί συνήθως η επιθεώρησή τους μία φορά κάθε εξάμηνο). Αλλά και σε περίπτωση βλάβης η αποκατάσταση της λειτουργίας γίνεται εύκολα λόγω της σπονδυλωτής μορφής της φωτοβολταϊκής διάταξης.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (τουλάχιστον 20-30 χρόνια).
- Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να

ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών.

- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου.
- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές: τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη δυνατότητα στον χρήστη να πωλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου.

Από την άλλη μεριά παρατηρείται ένα βασικό μειονέκτημα το οποίο είναι το υψηλό οικονομικό κόστος τους, που παρόλη την τεχνολογική εξέλιξη παραμένει αυξημένο. Μια γενική ενδεικτική τιμή είναι 2700 ευρώ ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (kW) ηλεκτρικής ισχύος. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια τυπική οικιακή κατανάλωση απαιτεί από 1,5 έως 3,5 κιλοβάτ, το κόστος της εγκατάστασης δεν είναι αμελητέο.

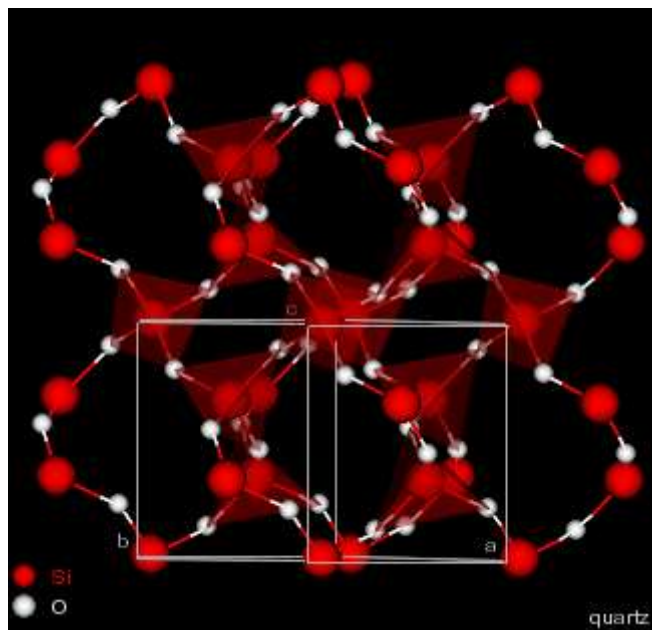
1.7 Τύποι Φωτοβολταϊκών Στοιχείων

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου ακόμη κυριαρχούν στην αγορά, το πυρίτιο δεν βρίσκεται ελεύθερο στην φύση ,σχηματίζει μια δυαδική ανόργανη ένωση όπου ονομάζεται οξείδιο του πυριτίου SiO_2 στην φύση μπορούμε να το βρούμε στην μορφή χαλαζία η άμμο και είναι ένα από τα ορυκτά υλικά που βρίσκονται σε αφθονία στον φλοιό της γης. Αρχικά πρέπει για να μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το πυρίτιο θα πρέπει να το διαχωρίσουμε από το οξυγόνο ,για να γίνει αυτό ρίχνουμε σε ένα καμίνι το υλικό μας μαζί με σκόνη άνθρακα , εκεί οι θερμοκρασίες είναι αρκετά υψηλές. Το πυρίτιο όμως που παίρνουμε από την διαδικασία έχει καθαρότητα 98% που δεν αρκεί για την χρήση του σε φωτοβολταϊκά στοιχεία έτσι για να απόκτηση ακόμη περισσότερη καθαρότητα περνάει από μια πολύπλοκη χημική διαδικασία, το τελικό προϊόν μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί για κελιά πυριτίου (μονοκρυσταλλικά ή πολυκρυσταλλικά)



Εικ. 1.18: Μορφή χαλαζία, μπορούμε να παρατηρήσουμε τα διάφορα σχήματα κρυστάλλων που σχηματίζει

<https://www.orykta.gr/oryktes-protos-yles-tis-ellados/latomika-orykta/biomihanika-orykta/63-xalazias>



Εικ. 1.19: Κρυσταλλική μορφή χαλαζία και οι δεσμοί του.

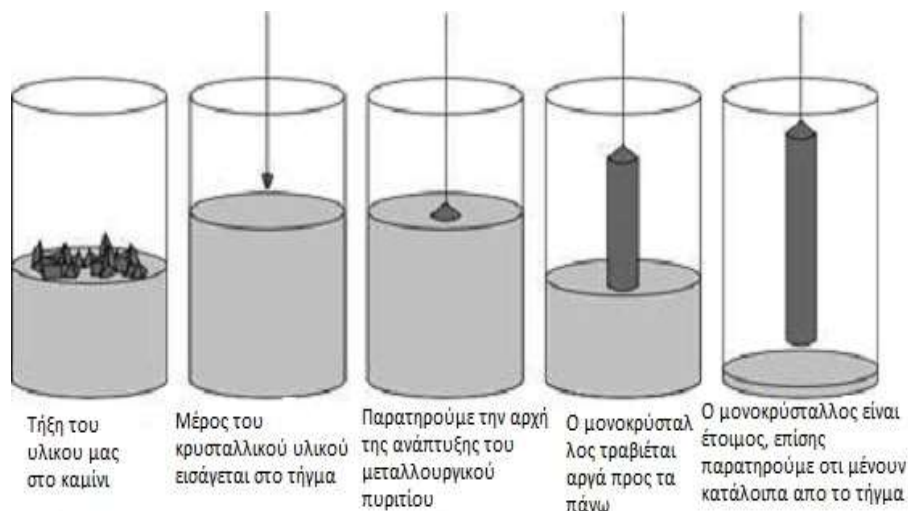
<https://www.orykta.gr/oryktes-protos-yles-tis-ellados/latomika-orykta/biomihanika-orykta/63-xalazias>

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους διακρίνονται στα παρακάτω:

- Κρυσταλλικού πυριτίου(Crystalline Silicon – Si) , συγκεκριμένα σε μονοκρυσταλλικά στοιχεία (sc-Si) και σε πολυκρυσταλλικά στοιχεία (mc-Si).
- Λεπού Υμενίου (Thin Film) τα οποία ταξινομούνται σε: Δισεληνοϊνδιούχου χαλκού(CIS, CuInSe₂) , άμορφου πυριτίου (a-Si), τελουριούχου καδμίου(CdTe) και αρσενικούχου γαλλίου(GaAs).
- Φωτοβολταϊκά στοιχεία νέων τεχνολογιών όπως: οργανικά φωτοβολταϊκά (OPV), φωτοβολταϊκά στοιχεία με χρωστική(DSSC).

1.7.1 Μονοκρυσταλλικά Φωτοβολταϊκά Στοιχεία

Μονοκρυσταλλικά κελιά: Η συγκεκριμένη τεχνολογία φωτοβολταϊκών κατέχει τις μεγαλύτερες αποδόσεις στα φωτοβολταϊκά που κυκλοφορούν στην αγορά. Η διαδικασία για την παραγωγή τους είναι πολύπλοκη. Αρχικά ακολουθείται μια διαδικασία ονομαζόμενη ως διαδικασία Czochralski από το όνομα του Πολωνού χημικού. Ο ημιαγωγός SiO₂ τοποθετείται σε ένα καμίνι με αρκετά υψηλή θερμοκρασία (1425 °C) όπου εκεί τήκεται.



Εικ. 1.20: Απεικόνιση δημιουργίας μονοκρύσταλλου από χαλαζία σε κρυσταλλική μορφή. Παρατηρούμε όλες τις φάσεις της διαδικασίας Czochralski από τον κρυσταλλική μορφή του χαλαζία που εισάγουμε μέχρι και τον μονοκρύσταλλο που παίρνουμε ως προϊόν της διαδικασίας αυτής.

Τώρα ο ενδογενής ημιαγωγός έχει ίσο αριθμό οπών και ελεύθερων ηλεκτρονίων εμείς όμως θέλουμε να δημιουργήσουμε ημιαγωγούς με περισσότερες οπές οι περισσότερα

ηλεκτρόνια τύπου p και τύπου n αντίστοιχα (φορείς πλειονότητας :οπές και φορείς μειονότητας :ηλεκτρόνια), αυτό γίνεται προσθέτοντας στο καμίνι κάποιους δότες ηλεκτρονίων ή αποδέκτες ηλεκτρονίων , οι δότες μπορεί να είναι συνήθως το Λίθιο ή ο φώσφορος και οι αποδέκτες Το Βόριο το Αλουμίνιο κ.α. η ποσότητα από αυτά τα στοιχεία πρέπει να είναι ακριβής , μετά τη στιγμή που θα έχουμε προσθέσει το δότη ή τον αποδέκτη παίρνουμε μια ειδική ράβδο την βάζουμε στον υγρό πλέον ημιαγωγό με τέτοιο τρόπο ώστε να καλυφτεί ολόκληρη, την εξάγουμε κάθετα προς τα πάνω και ταυτόχρονα περιστρέφουμε αν ακολουθήσουμε τα βήματα πιστά μπορούμε να δημιουργήσουμε μία μονοκρυσταλλική ράβδο από το τήγμα.



Εικ. 1.21: Φωτοβολταϊκό τύπου μονοκρυσταλλικού πυριτίου (mono Si)

https://en.wikipedia.org/wiki/Amorphous_silicon

1.7.2 Πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία

- Πολυκρυσταλλικά κελιά σιλικόνης: Είναι μια τεχνολογία νεότερη σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: Παίρνουμε τον ημιαγωγό από την φύση συνήθως στην μορφή χαλαζία όπως προαναφέραμε και τον τοποθετούμε για να λιώσει σε ένα καμίνι, οι θερμοκρασίες είναι αρκετά υψηλές(1500 °C) ακόμη υψηλότερη και από την θερμοκρασία που απαιτείται για την διαδικασία Czochralski (1425 °C), όμως εδώ αφήνουμε τον ημιαγωγό να παγώσει και αυτός σχηματίζει κομμάτια

πυριτίου. Τα συγκεκριμένα φωτοβολταϊκά μπορεί να έχουν μικρότερες αποδόσεις από τα μονοκρυσταλλικά έχουν όμως κατακλύσει την αγορά και αυτόν γιατί το κόστος παραγωγής του είναι μικρότερο πράγμα που συμφέρει τις βιομηχανίες, αφού το κόστος είναι ένας βαρυσήμαντος παράγοντας.



Εικ. 1.22: Φωτοβολταϊκό τύπου πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

<https://www.oleng.eu/fotovoltaiika-panel-250w/>

Αυτές ήταν οι 2 κύριες κατηγορίες φωτοβολταϊκών στοιχείων πυριτίου, μία άλλη κατηγορία που έχει εντυπωσιάσει την αγορά με το χαμηλό κόστος της είναι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού υμενίου.

1.7.3 Φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού Υμενίου

- Άμορφου πυριτίου: Αρχικά οι προσπάθειες για φωτοβολταϊκά στοιχεία λεπτού υμενίου ξεκίνησαν με βάση το πυρίτιο πάλι, πήραν σειρά τα στοιχεία άμορφου πυριτίου.



Εικ. 1.23: Σχηματική απεικόνιση μορίων πυριτίου ανάλογα την διαδικασία που ακολουθείται.

Όπως βλέπουμε και στην παραπάνω φωτογραφία το άμορφο πυρίτιο δεν σχηματίζει μία συγκεκριμένη κρυσταλλική δομή σε σύγκριση με τις άλλες 2 μορφές που απεικονίζονται, αλλά παρατηρούμε κάποια κενά στους χημικούς δεσμούς. Αυτά τα κενά στους δεσμούς είναι που θα μας βοηθήσουν στην διαδικασία παραγωγής του άμορφου πυριτίου, τα κενά αυτά απορροφούν το υδρογόνο μέχρι το στάδιο του κορεσμού έπειτα σειρά παίρνει μια διαδικασία γνωστή ως χημική απόθεση ατμού(chemical vapor deposition CVD) όπου εκεί προστίθεται σιλάνιο στην μορφή αερίου, το σιλάνιο έχει μοριακό τύπο SiH_4 και είναι μια δυαδική ανόργανη ένωση οι θερμοκρασίες που απαιτούνται δεν είναι και ιδιαίτερα υψηλές και επιτυγχάνονται εύκολα (περίπου 200 έως και 250°C). Τώρα φτάνουμε στο σημείο που θα πρέπει να δημιουργήσουμε τους φορείς πλειονότητας και μειονότητας. Θα χρησιμοποιήσουμε πάλι κάποια αέρια σαν δότες ή αποδέκτες. Για φορείς πλειονότητας χρησιμοποιούμε κυρίως το διβοράνιο, κάτω από συγκεκριμένες θερμοκρασίες είναι αέριο και έχει μοριακό τύπο B_2H_6 και είναι μια ανόργανη χημική ένωση. Για να δημιουργήσουμε φορείς μειονότητας χρησιμοποιούμε το φωσφάνιο μια ανόργανη χημική ένωση έχει μοριακό τύπο PH_3 .

Οι αποδόσεις του είναι μικρότερες από τα πολυκρυσταλλικά ή τα μονοκρυσταλλικά αλλά λόγω του φθηνότερου υποστρώματος όπου μπορεί να είναι γυαλί ή ακόμη και αλουμίνιο το κόστος τους είναι μικρότερο, επίσης κάτι που έχει τραβήξει την προσοχή είναι ότι η απόδοσή τους δεν επηρεάζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό τις ημέρες όπου υπάρχει συννεφιά. Βέβαια έχουν κάποια πολύ βασικά μειονεκτήματα, ένα βασικό μειονέκτημά τους που ίσως δεν τα καθιστά τόσο αξιόπιστα σε σχέση με τα προηγούμενα είναι η αντοχή τους στην πάροδο του χρόνου, επίσης το ποσό της ενέργειας που θα αποθηκευτεί σε αυτά και θα μπορέσει να χρησιμοποιηθεί είναι μικρότερο, δηλαδή η ενεργειακή τους πυκνότητα είναι μικρότερη και έτσι θα πρέπει

να αυξηθεί το εμβαδόν που θα καλύπτουν με αποτέλεσμα να υπάρχει πλέον το πρόβλημα του χώρου.

- Τελουριούχο καδμίου: Το τελουριούχο κάδμιο έχει ενεργειακό διάκενο γύρω στο 1 eV το οποίο είναι πολύ κοντά στο ηλιακό φάσμα κάτι που του προσδίδει πολλά πλεονεκτήματα όπως το να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Ωστόσο οι σύγχρονες τεχνικές μας προσφέρουν αποδόσεις πλαισίου γύρω στο 6-8%. Βάσει εργαστηριακά αποτελέσματα η απόδοση στα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχει φτάσει στο 16%. Σύμφωνα με μελέτες έχει διαπιστωθεί ότι το κάδμιο είναι καρκινογόνο στοιχείο με αποτέλεσμα να τίθεται το ενδεχόμενο για την απαγόρευση της χρήσης του. Ήδη οργανώσεις όπως η Greenpeace, κινητοποιούνται υπέρ της απαγόρευσης χρήσης του. Επιπλέον σημαντικό πρόβλημα αποτελεί η ανεπαρκής ποσότητα του τελλουρίου.
- Αρσενικούχο Γάλλιο: Το γάλλιο αποτελεί παραπροϊόν ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Συγκριτικά με τον χρυσό είναι πιο σπάνιο το γάλλιο ενώ το αρσενικό παρόλο που δεν είναι σπάνιο είναι δηλητηριώδες. Το Αρσενικούχο Γάλλιο έχει ενεργειακό διάκενο 1,43eV το οποίο είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η υψηλότερη απόδοση που έχει πραγματοποιηθεί είναι το 29% υπό τη μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction). Βασικό πλεονέκτημα τους είναι το γεγονός ότι αντέχουν σε πολύ υψηλές ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας και λόγω της υψηλής απόδοσης τους συνίσταται στη χρήση διαστημικών εφαρμογών. Ακόμα είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γι' αυτό και χρησιμοποιούνται σε ηλιακά συστήματα. Παρόλα αυτά βασικό μειονέκτημα της τεχνολογίας αυτής είναι το υπερβολικό κόστος του μονοκρυσταλλικού υποστρώματος αρσενικούχου γαλλίου.

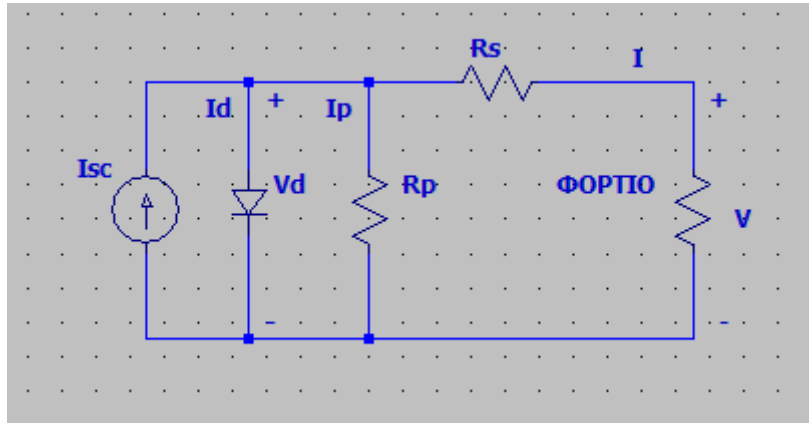
1.7.4 Άλλες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών στοιχείων

Η τεχνολογία των φ/β εμφανίζει ραγδαία εξέλιξη, όπου εργαστηριακές ομάδες ανά τον κόσμο ανακαλύπτουν νέες πατέντες. Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που ξεχωρίζουν για μελλοντική χρήση είναι τα:

- Νανοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου(nc-Si)
- Οργανικά/ Πολυμερή στοιχεία

1.8 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά και συνδεσμολογίες φωτοβολταϊκών

Για να εξετάσουμε την λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου θα πρέπει να βρούμε κάποιο ισοδύναμο κύκλωμα που να το αναπαριστά πιστά.



Εικ. 1.24: Ισοδύναμο κύκλωμα του φωτοβολταϊκού στοιχείου ,δημιουργήθηκε με την βοήθεια του προγράμματος LTspice.

- R_s συμβολίζει δύο αντιστάσεις η μία έχει σχέση με την αντίσταση εσωτερικά στο φωτοβολταϊκό κελί δηλαδή την ποσότητα της αντίστασης του ημιαγωγού και την αντίσταση των ακροδεκτών του φωτοβολταϊκού κελιού.
- Η R_p ή R_{sh} είναι η αντίσταση διαρροής

Το παραπάνω ισοδύναμο δείχνει την λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου, η πηγή ρεύματος συμβολίζει το ρεύμα που δημιουργείται από την ηλιακή ακτινοβολία, έτσι εφαρμόζοντας τον νόμο ρευμάτων του Kirchoff μας προκύπτει η σχέση:

$$I_{sc} = I_d + I_p + I$$

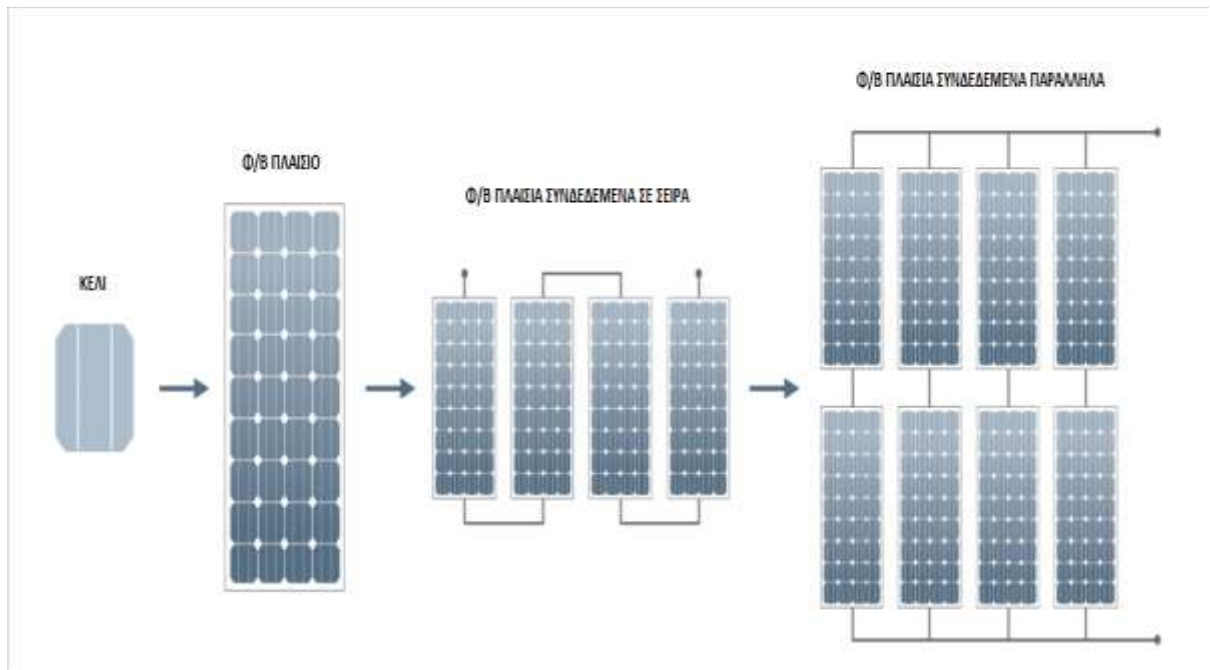
Η απόδοση που έχουμε για την μετατροπή της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει πάνω στο φωτοβολταϊκό κελιά σε ηλεκτρική ενέργεια φαίνεται στην παρακάτω σχέση, όπου J_{sc} είναι η πυκνότητα ρεύματος, V_{oc} είναι η τάση ανοιχτού

κυκλώματος και FF ο συντελεστής πλήρωσης και τέλος P_{in} είναι η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία.

$$n = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{J_{sc} \times V_{oc} \times FF}{P_{in}}$$

Ο συντελεστής πλήρωσης η τιμές που μπορεί να πάρει είναι από το 0 έως και το 1 εάν είναι κοντά στο 1 τότε το φωτοβολταϊκό μας στοιχείο πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά πηγής σταθερού ρεύματος.

$$FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}}$$



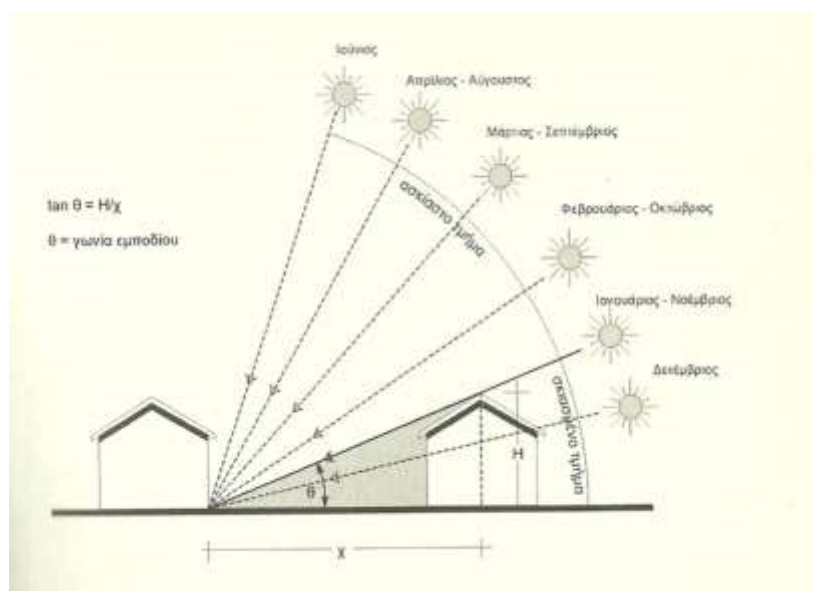
Εικ. 1.25: Από το φωτοβολταϊκό κελί στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο και μετά στις διασυνδέσεις των φωτοβολταϊκών πλαισίων σε σειρά ή παράλληλα ανάλογα για την εφαρμογή που έχουμε επιλέξει να τα χρησιμοποιήσουμε.

<http://www.yourhome.gov.au/energy/photovoltaic-systems%20>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

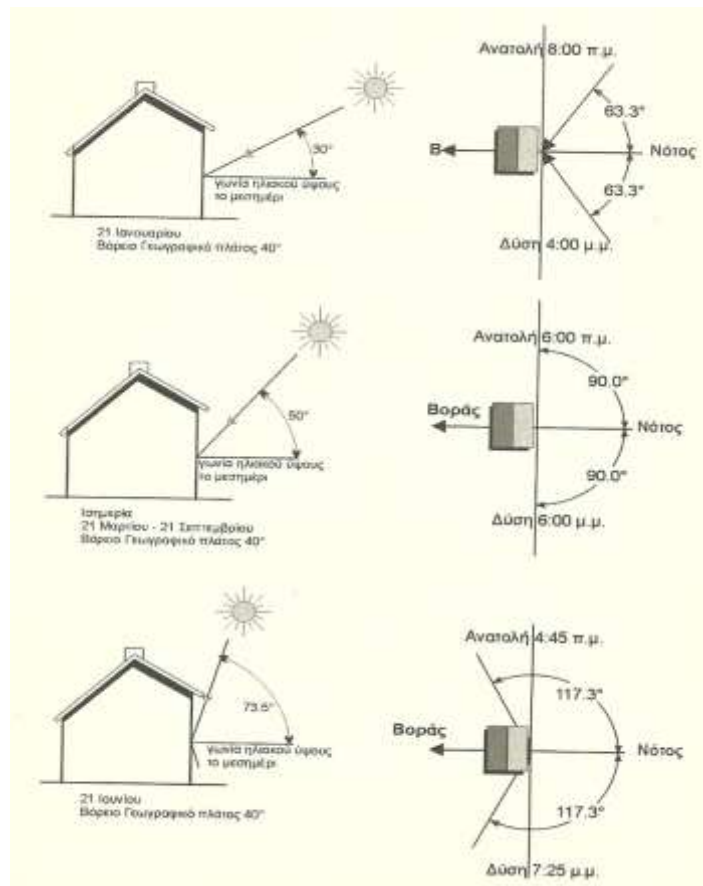
2.1 Εκμετάλλευση φυσικού φωτισμού - Προσανατολισμός κτιρίου

Η σωστή τοποθέτηση του κτιρίου ανάλογα με τις αλλαγές στην θέση του ήλιου επηρεάζει θετικά πολλούς παράγοντες, όπως την εκμετάλλευση της θερμότητας τους χειμερινούς μήνες επίσης και τους καλοκαιρινούς μήνες μπορούμε να εξασφαλίσουμε άνεση για τους ανθρώπους που κατοικούν στο κτίριο ή αν πρόκειται για εργασιακό χώρο για τους χρήστες του χώρου αυτού . Επιπλέον μια μελετημένη κτιριακή δομή ,μπορεί να εκμεταλλευτεί για την μέγιστη δυνατή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων.



Εικ:2.1 Θέσεις ήλιου ανάλογα με τους μήνες του έτους

Στην παραπάνω φωτογραφία , μπορούμε να δούμε τις θέσεις του ήλιου ανάλογα τους μήνες τους έτους και να παρατηρήσουμε το πρόβλημα της σκίασης που δημιουργείται ανάλογα την θέση του εμποδίου και του κτιρίου που μας ενδιαφέρει ,έτσι δημιουργείται η ανάγκη για την πραγματοποίηση μιας μελέτης όπου θα μπορέσουμε να περιορίσουμε διάφορα τέτοια προβλήματα.



Εικ:2.2 Προσανατολισμός κτιρίου

Ακόμη μπορούμε με τον προσανατολισμό του κτιρίου να αυξήσουμε την ακτινοβολία που θα προσπίπτει πάνω σε αυτό και στα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Τον σωστό προσανατολισμό μπορούμε να τον πραγματοποιήσουμε παρατηρώντας την θέση και το ύψος του ήλιου.

2.2 Εισαγωγή στα Ηλεκτροχρωμικά Παράθυρα

Η χρήση βελτιωμένων ειδικών υαλοπινάκων συνεισφέρει στην εξοικονόμηση ενέργειας για τη θέρμανση, ψύξη και φωτισμό των κτιρίων και στη βελτίωση των συνθηκών θερμικής και οπτικής ικανοποίησης που διαμορφώνεται στους εσωτερικούς χώρους. Οι ιδιότητες αυτές μπορεί να είναι σταθερές ή μεταβαλλόμενες ανάλογα με τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος. Οι κατηγορίες των υαλοπινάκων αυτών διαφοροποιούνται από τους κοινούς τόσο ως προς τα θερμικά όσο τα φωτομετρικά χαρακτηριστικά τους. Έμφαση θα δώσουμε στους

ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες, οι οποίοι είναι υαλοπίνακες με ιδιότητες να μεταβάλλονται σύμφωνα με τη διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος. Για να επιλέξει κανείς τον κατάλληλο υαλοπίνακα, θα πρέπει να εξεταστεί η χρήση του κτιρίου, για το αν εξοικονομείται ενέργεια και το κατά πόσο το σύστημα αυτό θα είναι οικονομικό συγκεκριμένα το κόστος εγκατάστασης, το όφελος και ο χρόνος απόσβεσης. Τα χαρακτηριστικά του υαλοπίνακα θα πρέπει να επιλεγούν με κριτήριο τη συμπεριφορά του στη θέρμανση και στο δροσισμό του κτηρίου ώστε να εξασφαλίζουν και το φυσικό φωτισμό των εσωτερικών χώρων. Τα ηλεκτροχρωμικά τζάμια ελέγχουν το φως της ημέρας, επιλέγοντας το επίπεδο της φωτεινότητας με τη ρύθμιση της ηλεκτρικής ενέργειας που εφαρμόζεται στην επιφάνεια του υαλοπίνακα.

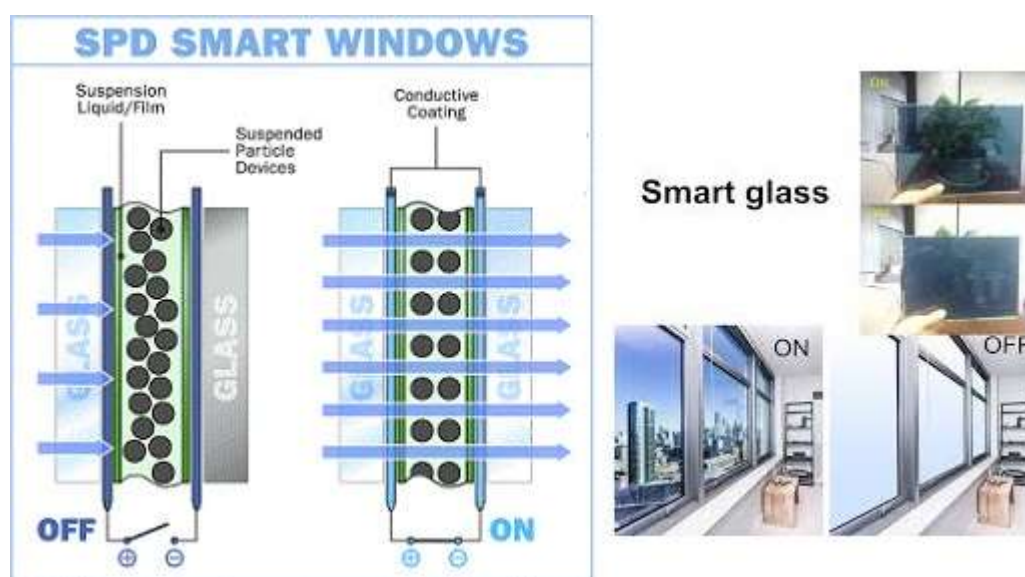


Εικ: 2.3 Ρύθμιση επιπέδου φωτεινότητας μέσω ρύθμισης της ηλεκτρικής ενέργειας

<https://www.saiindustrial.com/smart-glass-a-rapidly-growing-market/>

Ως ηλεκτροχρωμισμός μιας συσκευής ορίζεται η ικανότητα που αλλάζει τις οπτικές ιδιότητές της αντιστρεπτά εάν εφαρμοστεί ένα εξωτερικό δυναμικό που σχετίζεται με τις διεργασίες εισαγωγής και εκχύλισης ιόντων. Η ηλεκτροχρωμική συσκευή αποτελείται κυρίως από διάφορα στρώματα. Η βάση είναι ένα γυαλί ή ένα πλαστικό που καλύπτεται από μια διαφανή αγωγίμη μεμβράνη. Αυτά ακολουθούνται από ένα στρώμα ιοντικού αγωγού, με τη σειρά του ακολουθούμενη από μια μεμβράνη

αποθήκευσης ιόντων ή ένα (ή πολλαπλά) δωρεάν ανοδικά ηλεκτροστατικά στρώματα και μια άλλη διαφανή αγωγίμη μεμβράνη. Τα ηλεκτροενεργά στρώματα, συχνά σημειωμένα ως ηλεκτροχρωμικά, αλλάζουν τις οπτικές τους ιδιότητες μεταβάλλοντας την οξειδωμένη και μειωμένη μορφή τους. Ο ηλεκτροχρωμισμός μπορεί να θεωρηθεί χαρακτηριστικό της συσκευής αντί της υλικής ιδιότητας. Τα ευνοϊκότερα είναι τα ηλεκτροχρωμικά που αντανακλούν στην έγχρωμη κατάσταση τους και όχι να απορροφούν, όμως τελικά έχει διαπιστωθεί ότι τα περισσότερα ηλεκτροχρωμικά απορροφούν. Συνδυάζοντας διαφορετικούς τύπους ηλεκτροχρωμικών, μεμβρανών αποθήκευσης ιόντων και ιόντων αγωγών, μπορούν να ληφθούν διαφορετικές ιδιότητες για τη συσκευή, όπου μπορεί να βελτιστοποιηθεί το εύρος διαμόρφωσης, η ανθεκτικότητα και οι ταχύτητες μεταγωγής. Υπάρχουν ηλεκτροχρωμικά που είναι γνωστά σήμερα. Τα πιο σημαντικά είναι τα οξειδία μετάλλων, από τα οποία τα οξειδία βολφραμίου είναι τα πιο γνωστά, ωστόσο και τα ηλεκτροχρωμικά πολυμερή εφαρμόζονται σε ηλεκτροχρωμικά παράθυρα και συσκευές.



Εικ: 2.4 Χρωματισμός ηλεκτροχρωμικού παραθύρου

https://www.google.com/search?q=electrochromic+glass&rlz=1C1GCEA_enGR867GR867&sxsrf=ACYBGNTgV2tyULZEwvQlgUzDPGxUnRxp0g:1571681634478&source=Inms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwigpZes-q3IAhVQJFAKHSV1C4YQ_AUIEigB&biw=1536&bih=754&dpr=1.25#imgrc=jt5tTrJpnU7NtM:



Εικ:2.5 Χρωματισμός ηλεκτροχρωμικού παραθύρου

https://www.google.com/search?q=electrochromic+glass&rlz=1C1GCEA_enGR867GR867&sxsrf=ACYBGNTqV2tyULZEwwQlgUzDPGxUnRxp0q:1571681634478&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKEwigpZes-q3IAhVQJFAKHSV1C4YQ_AUIEigB&biw=1536&bih=754&dpr=1.25#imgdii=q2MzYPBoBBVtfM:&imgrc=fGZsZU9sTJkS9M:

2.2.1 Οξείδιο του βολφραμίου

Το ηλεκτροχρωμικό φαινόμενο των υλικών ανακαλύφθηκε αρχικά σε λεπτές μεμβράνες WO_3 από οξείδιο του βολφραμίου και παραμένει έως τώρα το πιο ελπιδοφόρο, μελετημένο και πιο εφαρμοζόμενο ηλεκτροχρωμικό υλικό στα παράθυρα και τις συσκευές της ΕΚ. Ο ηλεκτροχρωμισμός του οξειδίου του βολφραμίου είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο και δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητό, αλλά μπορεί και μπορεί να αναπαρασταθεί από την απλή αντίδραση (διαφανής) $W_3 + xM^{+} + xe^{-} \leftrightarrow M_xWO_3$ (βαθύ μπλε) (1) όπου M^{+} , Li^{+} , Na^{+} ή K^{+} , $0 < x < 1$ και όπου το e^{-} είναι τα ηλεκτρόνια. Το WO_3 γίνεται μπλε, ενώ το ντόπινγκ του οξειδίου με μολυβδαίνιο Mo παρέχει ουδετερότητα χρώματος. Ανάλογα με την κρυσταλλικότητα του στρώματος

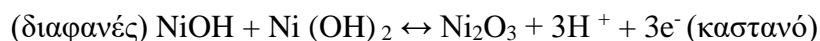
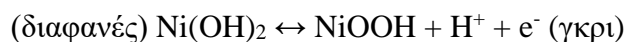
βολφραμίου, το οξείδιο του βολφραμίου λαμβάνει τη διαμόρφωσή του λόγω της ανακλαστικότητας ή της απορρόφησης.

2.2.2 Άλλα ηλεκτροχρωμικά μεταλλικά οξείδια

Εκτός από το WO_3 γνωστά είναι και άλλα ηλεκτροχρωμικά μεταλλικά οξείδια, τα οποία εφαρμόζονται σε πρωτότυπα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα, π.χ. Bi_2O_3 , CeO_2 , CoO , CuO , $FeOOH$, Fe_2O_3 , Fe_3O_4 , FeO , MnO_2 , MoO_3 , $P_2O_{2-\gamma}$, RhO_3 , RuO_2 , SnO_2 , Ta_2O_5 , TiO_2 και V_2O_5 , αλλά το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει πρόσφατα το οξείδιο του νικελίου $Ni_{1-y}O$, το διοξείδιο του ιριδίου IrO_2 και το πεντοξείδιο του νιοβίου Nb_2O_5 .

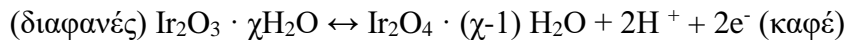
2.2.3 Οξείδιο του Νικελίου

Τα φιλμ που βασίζονται σε NiO λόγω του λογικού τους κόστους σε συνδυασμό με τις εξαιρετικές ηλεκτροχρωμικές ιδιότητες, οι οποίες βελτιώνονται με την ανάμειξη του NiO με οξείδια κενού μεγάλου εύρους ζώνης όπως το MgO ή το Al_2O_3 , παρουσιάζουν τεράστιο ενδιαφέρον το τελευταίο διάστημα. Συγκεκριμένα $NiO: X$, δηλαδή όπου το X είναι Mg , Al , Si , V , Zr , Nb , Ag , Ta , Li , Al ή B . Η κύρια επίδραση του ηλεκτροχρωμικού αποτελέσματος λαμβάνει χώρα στα φάσματα UV και VIS και επιτυγχάνει πολύ υψηλή απόδοση χρωματισμού μεταξύ $100 \text{ cm}^2 / C$ στα 340 nm και $25 \text{ cm}^2 / C$ στα 800 nm. Μία στιβάδα των 200 nm έχει οριστεί με T_{vis} 0,80-0,10 σε συγκέντρωση οξυγόνου κάπως κάτω από 1,5%.



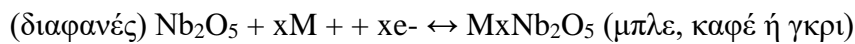
2.2.4 Οξείδιο του Ιριδίου

Οι ταινίες που βασίζονται σε IrO_2 και Ir_2O_3 παρουσιάζουν αυξημένο ενδιαφέρον το τελευταίο διάστημα. Παρόλο που τα φιλμ με βάση το IrO_2 είναι υπερβολικά ακριβά, επιτυγχάνονται καλές ηλεκτροχρωμικές ιδιότητες μετά την αραίωση με το πολύ φθηνότερο Ta_2O_5 .



2.2.5 Οξείδιο του Νιοβίου

Το ενδιαφέρον για το πεντοξείδιο του νιοβίου Nb_2O_5 έχει αυξηθεί την τελευταία δεκαετία λόγω των ενδιαφερουσών ηλεκτροχρωμικών ιδιοτήτων του α1. Το καθαρό Nb_2O_5 και το ενισχυμένο(ντοπαρισμένο) Nb_2O_5 : X, δηλαδή όπου το X είναι Sn, Zr, Ti, Li, Mo, WO_3 ή TiO_2 , τα στρώματα αλλάζουν χρώμα με την εισαγωγή ιόντων H^+ ή Li^+ από διαφανές σε καφέ, μπλε ή γκρι ανάλογα με την κρυσταλλικότητα του στρώμα.



Το καθαρό Nb_2O_5 έχει υψηλή μετάδοση 0,80 έως 0,92 στην ορατή περιοχή για τη λευκασμένη κατάσταση και 0,30 λαμβάνονται σε έγχρωμη κατάσταση, με σχετικά αργούς χρόνους χρωματισμού και λεύκανσης. Το μειονέκτημα των στρωμάτων Nb_2O_5 είναι η μικρή τους απόδοση χρώματος CE σε σύγκριση με το CE του οξειδίου του βολφραμίου. Τα φιλμ $\text{Li}_x\text{Nb}_2\text{O}_y$ από λιθιωμένο οξείδιο του νιοβίου παρουσιάζουν πολύ μεγαλύτερη ηλεκτροχρωμική αναστρεψιμότητα, όπου η λεύκανση επιτυγχάνεται μετά από μερικά δευτερόλεπτα, ενώ οι χρόνοι χρωματισμού παραμένουν οι ίδιοι.

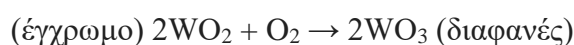
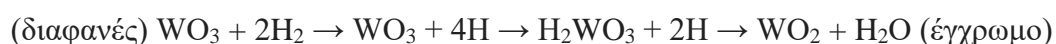
2.2.6 Αεροχρωματικές Συσκευές

Η αρχή πίσω από τα αεροχρωματικά παράθυρα είναι παρόμοια με αυτή των αεροχρωματικών παραθύρων στερεάς κατάστασης. Ένα ηλεκτροχρωμικό μεταβάλλεται μεταξύ της λευκασμένης και της χρωματισμένης κατάστασης με αέριο υδρογόνο H_2 αντί της εφαρμογής τάσης. Ωστόσο, όλα τα ηλεκτροχρωμικά υλικά δεν μπορούν να χρωματιστούν με αέριο υδρογόνο. Αναφέρεται ότι οι αεροχρωματικές συσκευές ότι είναι απλές και φθηνές, επειδή μόνο ένα ηλεκτροχρωμικό στρώμα είναι επαρκές και δεν είναι πλέον απαραίτητα διαφανή ηλεκτρικά αγωγά στρώματα. Η διαμόρφωση μετάδοσης των αεροχρωματικών συσκευών υπερβαίνει αυτά των περισσότερων παραθύρων EC στερεάς κατάστασης. Η αεροχρωματική εναλλαγή είναι μια επιλογή για εφαρμογές παραθύρων, αλλά απαιτεί καλά ελεγχόμενες

διαδικασίες ανταλλαγής αερίων. Το φαινόμενο έχει μελετηθεί σε συσκευές βασισμένες σε NiO, MoO₃ και V₂O₅, αλλά τα βέλτιστα αποτελέσματα για έξυπνα παράθυρα έχουν ληφθεί για αεροχρωματικές συσκευές βολφραμίου. Συνήθως, ένα λεπτό καταλυτικό στρώμα Pt ή Pd ενσωματώνεται για να διευκολύνει το αεροχρωματικό αποτέλεσμα, όμως τα οξείδια παραμένουν ηλεκτρικά μη αγωγίμα.

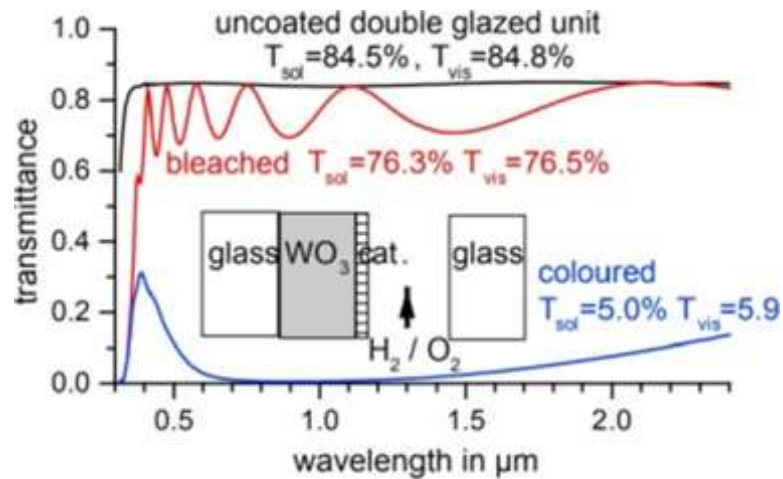
2.2.7 Αεροχρωματικά Παράθυρα με βάση το βολφράμιο

Τα αεροχρωματικά παράθυρα έχουν εισαχθεί με βάση τις χρωματικές ιδιότητες του WO₃ και παλλάδιο το οποίο έχει προστεθεί στο βολφράμιο. Λόγω του υψηλού δυναμικού οξειδοαναγωγής του, είναι δυνατό να χρωματίσει το WO₃ με αέριο υδρογόνο H₂. Το οπτικώς δραστικό υλικό είναι ένα πολωμένο φιλμ (ντοπαρισμένο) WO₃ με τυπικό πάχος περίπου 400 nm, επικαλυμμένο με λεπτό στρώμα λευκόχρυσου Pt 1 έως 5 nm. Εκτίθεται σε χαμηλή συγκέντρωση H₂ σε ένα φέρον αέριο και το χρώμα του είναι μπλε. Ένα πιο ουδέτερο χρώμα, όπως το γκριζο-μπλε, μπορεί να ληφθεί με τη χρήση ενός μίγματος WO₃ με οξείδιο του μολυβδαινίου W_xMo_yO₃, αλλά αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα κατώτερες διαπερατότητες. Κατά την έκθεση στο O₂, το στρώμα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Ο ακριβής μηχανισμός αερόχρωμου χρωματισμού δεν είναι ακόμη γνωστός, αλλά μπορεί να συνοψιστεί στις εξής σχέσεις:



Τόσο η οπτική πυκνότητα όσο και ο ρυθμός χρωματισμού μπορούν να μεταβάλλονται με την επιλογή του πάχους της μεμβράνης ή και της συγκέντρωσης αερίου. Για δοκιμή, τα αέρια παρέχονται από φιαλίδια υπό πίεση, αλλά η παραγωγή των αερίων με ηλεκτρόλυση είναι προφανής επιλογή και μπορεί να ενσωματωθεί σε μια πρόσοψη χωρίς να επηρεαστεί το υπόλοιπο κτίριο. Μονάδες μεγέθους 0,6 με 1,1 m² έχουν παραχθεί και δοκιμαστεί σε 20.000 κύκλους κατά τη διάρκεια τριών ετών χωρίς να υποστούν προφανείς ζημιές. Οι μεταδόσεις T_{sol} 0,76-0,05 και T_{vis} 0,77-0,06 έχουν επιτευχθεί. Η μετάδοση μειώνεται στο 10% της αρχικής της τιμής μέσα σε

20 δευτερόλεπτα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας χρωματισμού και επιστρέφει στο 95% αυτής της τιμής εντός ενός λεπτού με την αποδοχή 5% οξυγόνου στο σύστημα. Ο χρωματισμός μπορεί να επιταχυνθεί αυξάνοντας το πάχος του φιλμ ή / και τη συγκέντρωση αερίου.



Σχήμα: 2.6 Σχηματική αναπαράσταση αεροχρωματικών παραθύρων με βάση το βολφράμιο

https://www.google.com/search?q=Transmittance+for+the+coloured+and+bleached+state+of+a+gasochromic+double-glazed+unit+with+a+WO3+layer+of+500+nm+and+a+hydrogen+concentration+of+1+%25&rlz=1C1GCEA_enGR835GR835&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi_z9OB2tHhAhXEPOwKHcwmCUMQ_AUIDigB&biw=1024&bih=620#imgcl=L1BQu5GWCX_mAM:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών στα κτίρια

Τα φωτοβολταϊκά διαθέτουν τη δυνατότητα να ενσωματωθούν στη στέγη, στα σκίαστρα και στη πρόσοψη. Με αυτόν τον τρόπο εκμεταλλευόμαστε επιφάνειες που σε άλλη περίπτωση δεν θα χρησιμοποιούνταν. Συγκεκριμένα παρακάτω θα αναφερθούμε στους τρεις τρόπους ενσωμάτωσης.

A) Ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών στη στέγη με τους εξής τρόπους:

- Ενσωμάτωση φ/β σε όλη την επιφάνεια της στέγης
- Ενσωμάτωση φ/β σε ένα μέρος της στέγης



B) Ενσωμάτωση φ/β στις προσόψεις κτηρίων:

Η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών στην πρόσοψη ενός κτιρίου αποτελεί από την μια πλευρά την καλύτερη λύση όσον αφορά την εξοικονόμηση χώρου, με μειωμένη όμως απόδοση των φωτοβολταϊκών, λόγω της κάθετης τοποθέτησης σε σχέση με τον ήλιο. Η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών στοιχείων σε αυτή τη περίπτωση παρέχει το επιπλέον πλεονέκτημα της παραγωγής ρεύματος. Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα είναι η αισθητική του κτιρίου, που δεν επηρεάζεται λόγω των πλαισίων.



Γ) Ενσωμάτωση φ/β στα σκίαστρα :

Τα πλαίσια παίρνουν τη μορφή κινητών ή σταθερών περσίδων που μπορούν να κλείσουν όταν θέλουμε να προστατέψουμε το κτίριο από τον ήλιο και απορροφώντας παράλληλα ηλιακή ενέργεια, και να ανοίξουν όταν θέλουμε φως, ορατότητα ή όταν πια ο ήλιος πέσει. Αντίστοιχα, οι φωτοβολταϊκές περσίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως στέγαστρα για προστασία από τον ήλιο. Πάνω στις περσίδες υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθεί σχεδίαση και το σκίαστρο να έχει το χρώμα που επιθυμούμε.



Στο τέλος όλων των παραπάνω αξίζει να αναφερθούμε στα πλεονεκτήματα των ενσωματωμένων φ/β. Αναφορικά:

- Αξιοποιούνται στο διαθέσιμο χώρο χωρίς αλλαγές στο κτίριο
- Στα μεγάλα κτίρια, αν γίνει σωστή εκμετάλλευση του διαθέσιμου χώρου, τα ενσωματωμένα πλαίσια μπορούν να καλύψουν, ένα σημαντικό μέρος της κατανάλωσης τους
- Η τεχνολογία των BIPV ανοίγει νέους δρόμους καθώς πλέον φωτοβολταϊκά μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε όπως σε δρόμους, σε στάσεις λεωφορείων και σε οποιαδήποτε άλλη διαθέσιμη επιφάνεια.

3.2 Τρόποι εξοικονόμησης ενέργειας

- ❖ Η εξοικονόμηση ενέργειας σε ένα κτήριο εξασφαλίζεται με τον κατάλληλο σχεδιασμό του και τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών δομικών στοιχείων και συστημάτων ενώ δε παράλληλα μέσω της υψηλής αποδοτικότητας των εγκατεστημένων ενεργειακών συστημάτων.
- ❖ Άλλος ένας καθοριστικός παράγοντας εξοικονόμησης ενέργειας είναι η ενεργειακή διαχείριση του κτηρίου, η οποία πραγματοποιείται σε συνεχή βάση και αποτελείται από ένα σύνολο ενεργειών.

3.3 Μορφές φωτοβολταϊκών στοιχείων για ενσωμάτωση στα κτίρια

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που προορίζονται για κτίρια , ανήκουν σε 2 μεγάλες κατηγορίες



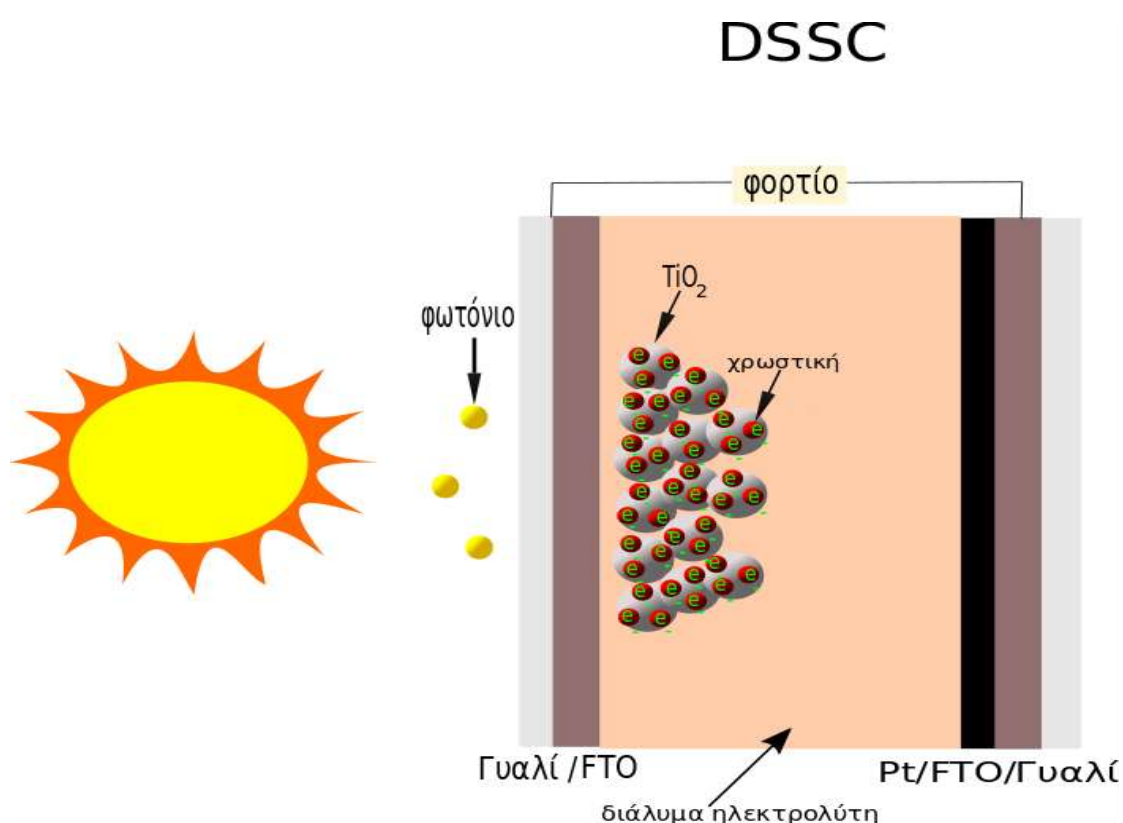
Εικ. 3.5: Οι 2 κατηγορίες των φωτοβολταϊκών συλλεκτών που τοποθετούνται σε κτήρια βιομηχανίες κλπ.

Τα φωτοβολταϊκά της κατηγορίας BIPV (Building integrated photovoltaic system) είναι φωτοβολταϊκά όπου μπορούν να αντικαταστήσουν τα δομικά υλικά ενός κτιρίου, δηλαδή θα μπορούν να αποτελούν τα ίδια την σκεπή ή τα τζάμια ενός κτιρίου. Ενώ τα BAPV (Building applied photovoltaic system) μπορούν να τοποθετηθούν ως ένας εξοπλισμός εκ των υστέρων και δεν αποτελούν υλικά ή μέρη του κτιρίου.

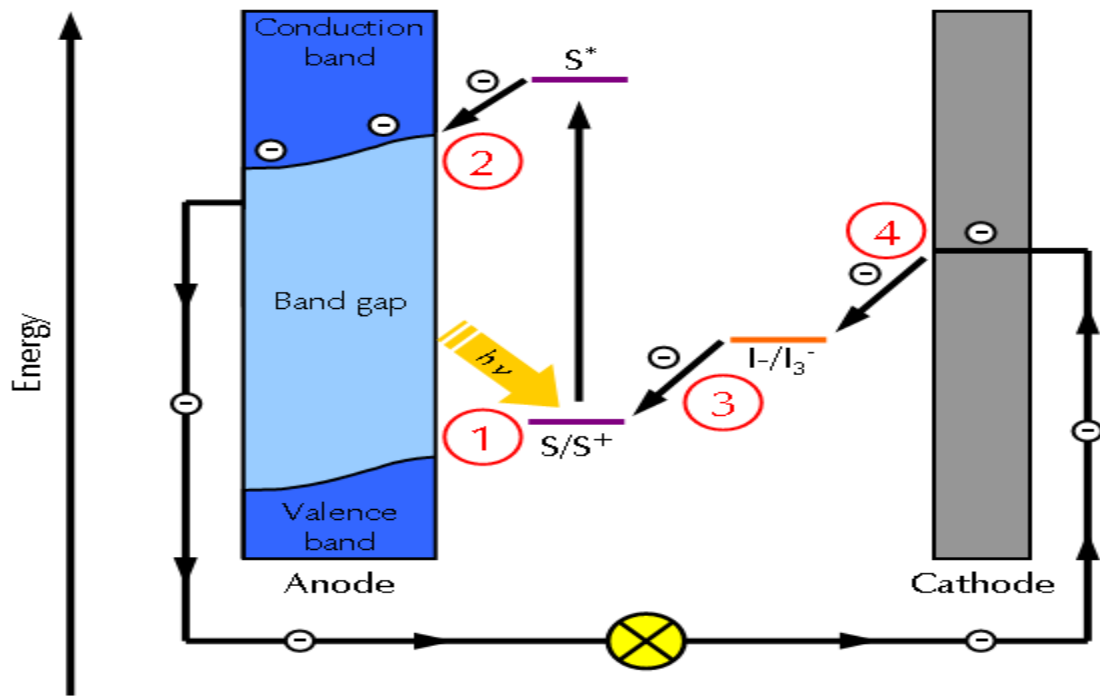
3.4 Διαφανές φωτοβολταϊκό παράθυρο και τεχνολογία φωτοβολταϊκού DSCs

Τα φωτοβολταϊκά τύπου DSC είναι φωτοηλεκτροχημικά κελιά ,και είναι ευαισθητοποιημένα με χρωστική. Αυτή η τεχνολογία φωτοβολταϊκών είναι μια εναλλακτική λύση για την παραγωγή ηλεκτρικής, ο τρόπος λειτουργίας ακολουθεί παρόμοια διαδικασία με την φωτοσύνθεση όπου σε αυτή την διαδικασία η φωτεινή ενέργεια που προσπίπτει στα φυτά μετατρέπεται σε χημική ενέργεια , η φωτοσύνθεση λαμβάνει χώρα κυρίως στα φύλλα(πράσινα μέρη) όπου αυτά έχουν τον κατάλληλο σχεδιασμό για την διεργασία αυτή, επίσης η χλωροφύλλη που έχουν τα φύλλα πάνω τους,(και ο βλαστός έχει) δεσμεύει τα ποσά της ηλιακής ενέργεια που φτάνουν πάνω της έτσι διεγείρεται, έπειτα οξειδώνεται(ιονίζεται) χάνει δηλαδή κάποια ηλεκτρόνια ,έπειτα αυτά τα ηλεκτρόνια δεσμεύονται από άλλα μόρια . Ο άνθρωπος συνηθίζει να παίρνει μαθήματα από την φύση για αυτό και στα φωτοβολταϊκά κελιά τύπου DSCs η

διαδικασία που παίρνει μέρος είναι παρόμοια και είναι η εξής : τα φωτόνια που προσπίπτουν πάνω στα μόρια της χρωστικής διεγείρουν την χρωστική, αυτή οξειδώνεται και τώρα η φορείς του φορτίου (ηλεκτρόνια) διεγείρονται και από την (HOMO) υψηλά απασχολημένη μοριακή τροχιά περνούν στην λιγότερο απασχολημένη μοριακή τροχιά(LUMO), αυτή επικαλύπτεται με την ζώνη αγωγιμότητας της τιτάνιας και έτσι τα ηλεκτρόνια περνούν στον ημιαγωγό έπειτα , πάνε προς το φορτίο και κλείνουν τον κύκλο τους με το να φτάσουν στην πλατίνα και από εκεί μέσω του ηλεκτρολύτη πάλι στην χρωστική. Ένα σημαντικό κομμάτι από τις μετακινήσεις των ηλεκτρονίων που θα πρέπει να αναφέρουμε είναι πως τα ηλεκτρόνια από την μετακίνησή τους στον ημιαγωγό αφήνουν πίσω στα μόρια της χρωστικής οπές , δηλαδή τα μόρια της χρωστικής φορτίζονται θετικά από την απουσία ηλεκτρονίων , τώρα έρχεται η σειρά του ηλεκτρολύτη να αναγεννήσει την χρωστική και να τις παρέχει ηλεκτρόνια ,τα ηλεκτρόνια τα δέχεται από το Γ_3 όπου μειώνεται στο Γ .



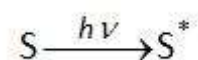
Εικ. 3.6: Ένα ολοκληρωμένο φωτοβολταϊκό στοιχείο τύπου DSSC. Η τιτάνια φαίνεται με λευκό χρώμα, τα ηλεκτρόνια βρίσκονται επάνω στην χρωστική και περιμένουν τα φωτόνια να πέσουν πάνω τους και να τα διεγείρουν. Το διάλυμα του ηλεκτρολύτη βλέπουμε πώς ενώνει την άνοδο με την κάθοδο.



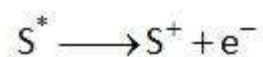
Εικ. 3.7: Σειρά ενεργειών σε φωτοβολταϊκό κελί τύπου DSSC.

<https://www.gamry.com/application-notes/physechem/dssc-dye-sensitized-solar-cells/>

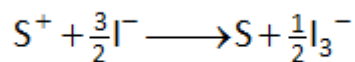
Όπως αναφέραμε , τα φωτόνια προσπίπτουν πάνω στην χρωστική ,όταν γίνεται αυτό όπως βλέπουμε και από την εξίσωση από κάτω ότι η χρωστική διεγείρεται και τα ηλεκτρόνια τότε περνούν σε στάθμες υψηλότερης ενέργειας(από HOMO σε LUMO)



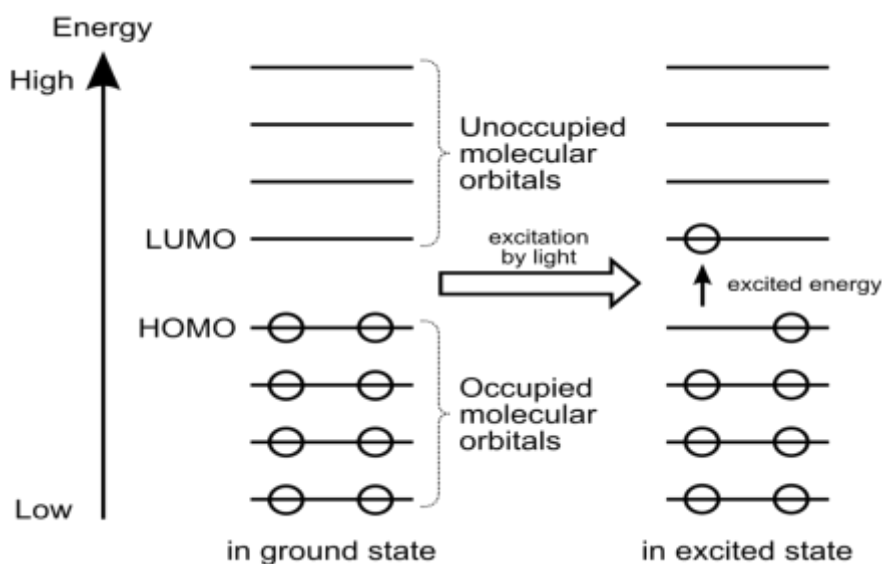
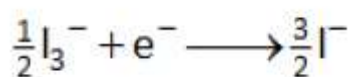
Τώρα πλέον φτάνει η ώρα του ηλεκτρονίου να περάσει στην ζώνη αγωγιμότητας του ημιαγωγού που έχουμε χρησιμοποιήσει, τότε η χρωστική οξειδώνεται και παρατηρούμε και από την εξίσωση πως έχει πλέον απουσία ηλεκτρονίων άρα υπάρχουν πλέον οπές.



Έρχεται η σειρά του ηλεκτρολύτη να προσφέρει ηλεκτρόνια στην χρωστική που έχει οξειδωθεί και έτσι να μπορέσει να γίνει αναγωγή και να έχουμε πάλι τον ίδιο κύκλο λειτουργίας



Τώρα για να αναγεννηθεί ο ηλεκτρολύτης θα πρέπει να βρει από κάπου ηλεκτρόνια αυτά μπορεί να τα πάρει εύκολα από την κάθοδο(рт)και έτσι να αναχθεί το



Εικ. 3.8: Όταν διεγείρονται τα ηλεκτρόνια και η ενέργεια τους αυξάνεται από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, βλέπουμε πώς περνούν από την περισσότερο απασχολημένη μοριακή τροχιά (HOMO) στην λιγότερο απασχολημένη μοριακή τροχιά (LUMO)

https://en.wikipedia.org/wiki/HOMO_and_LUMO

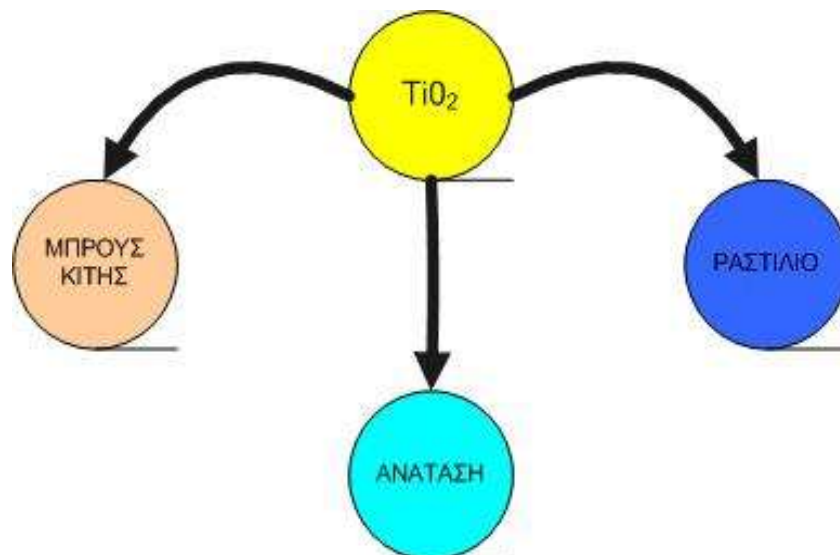
- Φωτοάνοδο (ηλεκτρόδιο, άνοδος)
- Συμπαγής τιτάνια c TiO₂ , με μόρια σφαιρικά μεγέθους περίπου 400 nm
- Μεσοπορώδη τιτάνια mp-TiO₂ ,με μόρια μεγέθους περίπου 20nm

- Χρωστική (Dye)
- Ηλεκτρολύτης
- Πλατίνα (Pt, αντιηλεκτρόδιο)

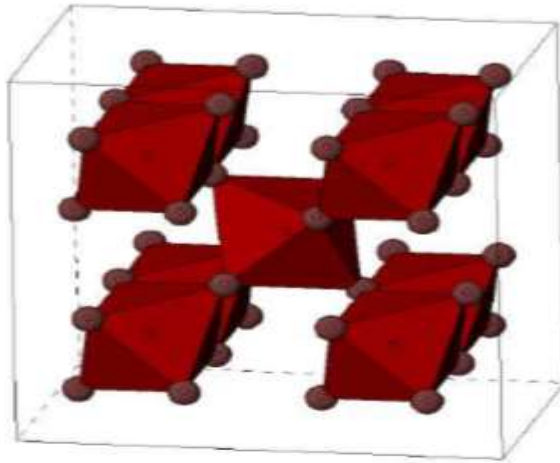
Η επιφάνεια της ανόδου έχει κοινό γυαλί ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι καλυμμένο είτε με FTO(φθοριούχος ένωση οξειδίου) ή με TCO (διαφανής αγώγιμο οξείδιο). Πάνω στην μεριά του FTO ή TCO γίνονται η εναποθέσεις της τιτάνιας, αρχικά πραγματοποιούμε κάποιες στρώσεις TiO_2 όπου έχει πάχος μερικά νανόμετρα.

3.4.1 Οξείδιο του τιτανίου και οι κρυσταλλικές του φάσεις

Το οξείδιο του τιτανίου (TiO_2) είναι ημιαγωγός , έχει 3 κρυσταλλικές φάσεις:

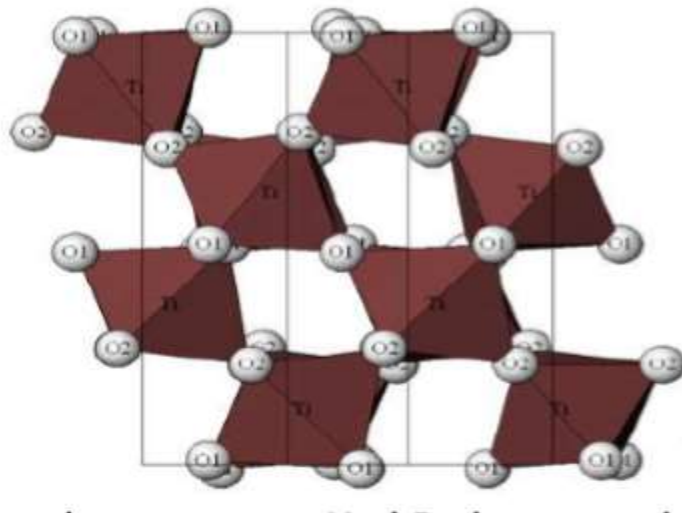


Εικ. 3.9: Οι τρεις κρυσταλλικές φάσεις του οξειδίου του τιτανίου



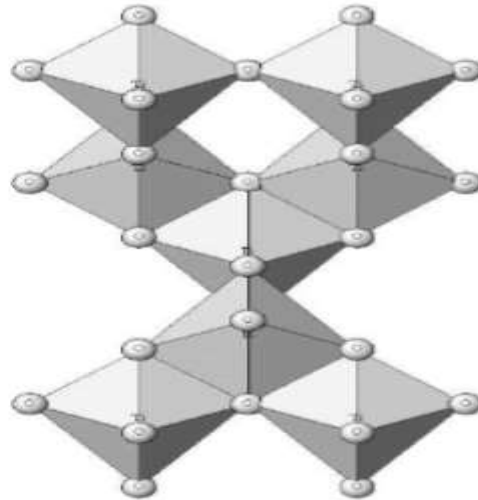
Εικ 3.9.1 Ρουτίλιο

<https://www.electricalab.gr/e-yliko/photo-catalysis-pollutants/956-tio2-kman-mix/file>



Εικ 3.9.2 Μπροουσίτης

<https://www.electricalab.gr/e-yliko/photo-catalysis-pollutants/956-tio2-kman-mix/file>



Εικ 3.9.3Ανατάση

<https://www.electricalab.gr/e-yliko/photo-catalysis-pollutants/956-tio2-kman-mix/file>

Οι ημιαγωγοί σε σχέση με τους μονωτές έχουν μικρότερο ενεργειακό χάσμα, το χάσμα αυτό βρίσκεται ανάμεσα στις ζώνες σθένους και αγωγιμότητας,

Θέλουμε η τιτάνια αυτή να είναι πορώδης και να έχει μικρά σωματίδια (20nm διάμετρος περίπου) για να μπορεί η χρωστική να προσκολληθεί με ευκολία πάνω της.

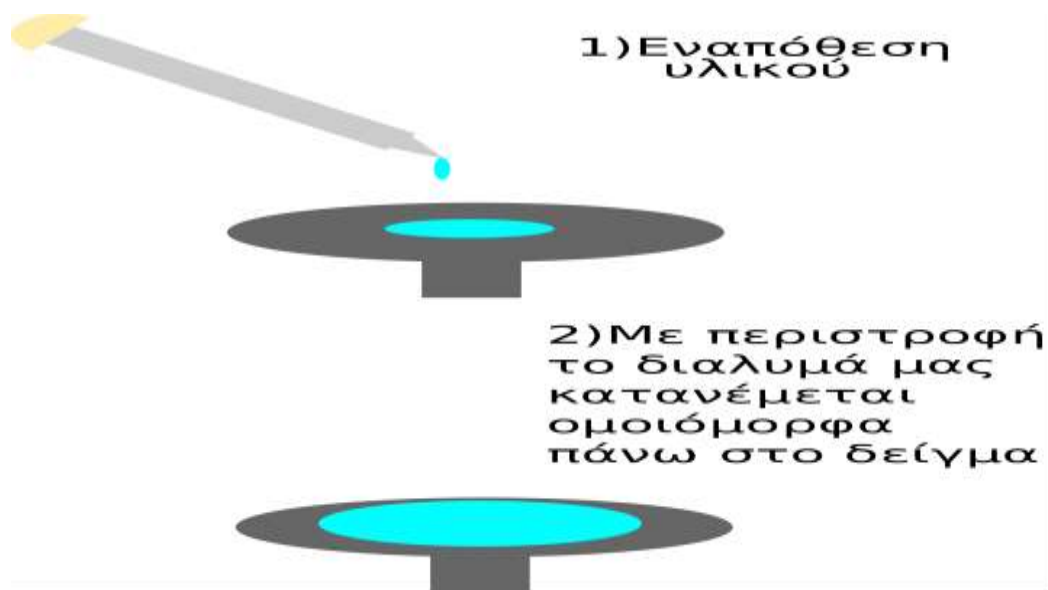
3.4.2 Τεχνικές εναπόθεσης ημιαγωγού

- Spin coating
- Doctor Blade
- Dip coating
- Langmuir Blodgett
- Spray coating

Spin coating

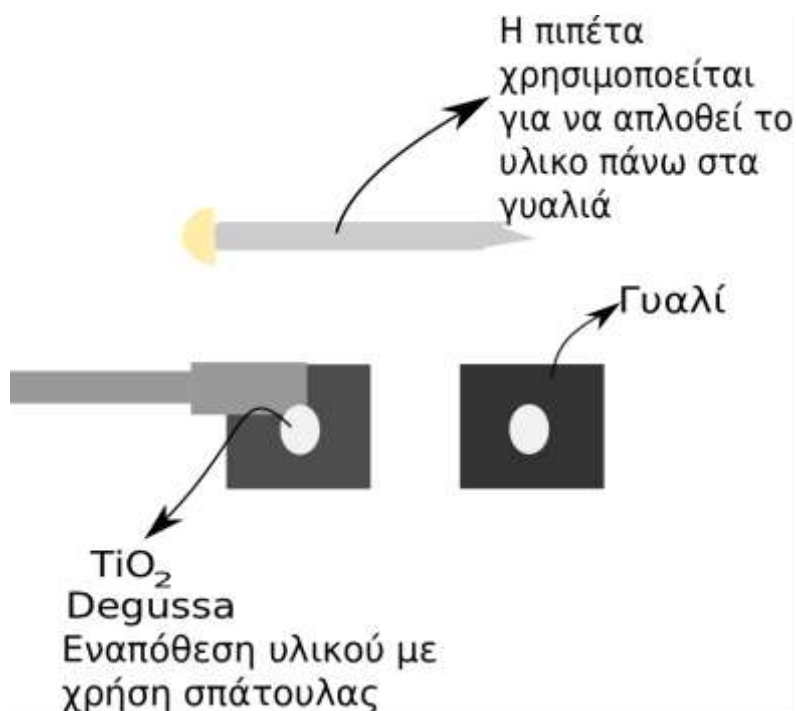
Η τεχνική εναπόθεσης που χρησιμοποιείται κατά κόρον στις εναποθέσεις που αφορούν φωτοβολταϊκά λεπτού υμενίου είναι το spin coating. Τοποθετούμε μέσα στον spin coater το δείγμα μας, εναποθέτουμε το διάλυμα μας με πιπέτα και έπειτα αυτό επιλέγοντας το κατάλληλο για την χρήση που θέλουμε πρόγραμμα αυτό

περιστρέφεται. Με την περιστροφή αρκετό υλικό φεύγει πάνω από το δείγμα και πέφτει στα τοιχώματα του spin coater και μένει το υλικό που χρειαζόμαστε το πάχος του υλικού που μένει εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής που έχουμε θέσει εμείς αυτή μπορεί να είναι 1200 rpm , 2000rpm ή και παραπάνω. Μια σχέση μας δείχνει πώς μεταβάλλεται το πάχος με την ταχύτητα, $t = \frac{1}{\sqrt{\omega}}$ με t(μm,nm) συμβολίζεται το πάχος του διαλύματος και με ω (rad/sec) η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του άξονα του spin coater. Παρατηρούμε πως το πάχος του διαλύματος είναι αντιστρόφως ανάλογο της τετραγωνικής ρίζας της γωνιακής ταχύτητας, έτσι με την αύξηση της γωνιακής ταχύτητας έχουμε και μείωση του πάχους του υλικού στην επιφάνεια του δείγματος. Οι ταχύτητες που επιλέγονται διαφοροποιούνται σε κάθε περίπτωση εάν για παράδειγμα έχουμε κάποιο υλικό με μεγάλο ιξώδες θα χρειαστούμε μία μεγαλύτερη ταχύτητα για να απομακρύνουμε το υλικό που δεν χρειαζόμαστε, ενώ αντίθετα σε ένα υλικό με μικρό ιξώδες δεν πρέπει να χρησιμοποιούμε μεγάλη ταχύτητα περιστροφής γιατί θα χάσουμε αρκετό υλικό και το δείγμα μας δεν θα βγει καλό.



Εικ. 3.10: Εναπόθεση διαλύματος πάνω στον γυαλί και περιστροφή του spin coater.

Άλλη μία πολύ γνωστή τεχνική που χρησιμοποιήσαμε και εμείς αρκετά στο εργαστήριο είναι η τεχνική Doctor blade.

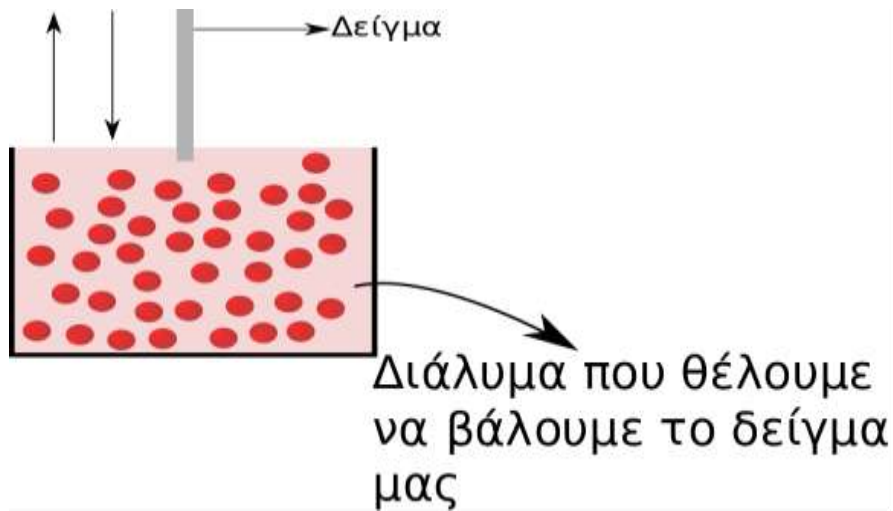


Εικ. 3.11: Η τεχνική doctor blade χρησιμοποιείται συχνά. Βλέπουμε την σπάτουλα στο πλάι όπου αφήνουμε το υλικό με αυτήν πάνω στο γυαλί και έπειτα χρησιμοποιώντας την πιπέτα σαν σπάτουλα απλώνουμε με προσοχή και ομοιόμορφα το υλικό μας πάνω στην αγωγή πλευρά του γυαλιού.

Με την τεχνική αυτή εναποθέτουμε το υλικό με μια πιπέτα ή κάποιο άλλο ειδικό εργαλείο. Την χρησιμοποιούμε κυρίως όταν χρησιμοποιούμε Degussa και αυτό γιατί το ιξώδες της είναι αρκετά μεγάλο και με τον spin coater δεν θα πετύχουμε ομοιόμορφο στρώσιμο του υλικού.

Dip coating

Μια άλλη τεχνική εναπόθεσης που χρησιμοποιήθηκε όταν θέλαμε να προσροφηθεί η χρωστική πάνω στον ημιαγωγό μας είναι το dip coating

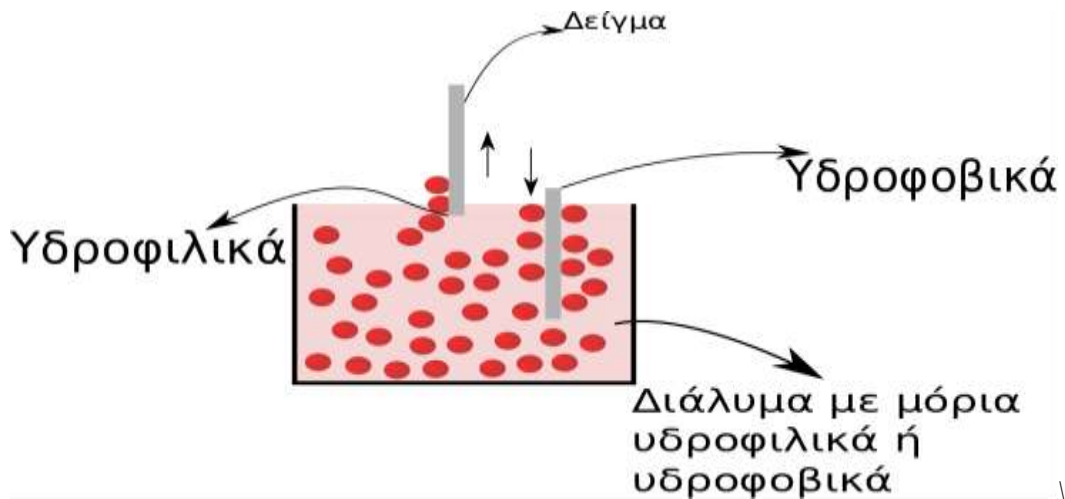


Εικ. 3.12: Εδώ έχοντας το διάλυμα σε ένα ποτήρι ζέσεως εμβαπτίζουμε το δείγμα μας και τα μόρια του διαλύματος κολλάνε πάνω στην επιφάνεια του.

Εδώ τοποθετούμε το δείγμα στο ποτήρι ζέσεως για παράδειγμα και το αφήνουμε για κάποιο χρονικό διάστημα τα βέλη δείχνουν την φορά που το τοποθετούμε μέσα και πως το αφαιρούμε. Το δείγμα το βγάζουμε προ τα έξω με μία τσιμπίδα με προσοχή χωρίς να το γρατζουνίσουμε και το πιάνουμε από την μη ενεργή επιφάνεια.

Langmuir Blodgett

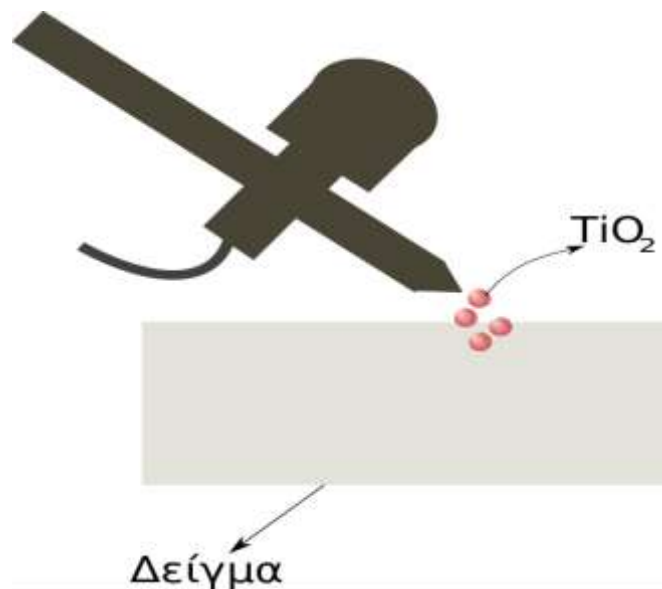
Η τεχνική αυτή δεν την έχουμε χρησιμοποιήσει ποτέ , αλλά χρησιμοποιεί την υδροφιλική ή υδροφοβική ιδιότητα των μορίων του διαλύματος που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε εναπόθεση, έτσι τα μόρια πάνε μόνα τους πάνω στον αγωγό.



Εικ. 3.13: Η τεχνική αυτή μοιάζει με την τεχνική dip coating αλλά δεν είναι ίδια αφού χρησιμοποιούμε προς όφελός μας την υδροφιλική ή υδροφοβική ιδιότητα των μορίων του διαλύματος που υπάρχει στο ποτήρι ζέσεως.

Spray coating

Η τεχνική αυτή καταλαβαίνουμε από το όνομά της κιάλας πως είναι σαν το βάνιμο. Έχοντας βάλει στο δοχείο του πιστολιού το υλικό μας και πιέζοντας την σκανδάλη, μπορούμε να κατευθύνουμε τα μόρια στα σημεία που θέλουμε πάνω στο δείγμα.

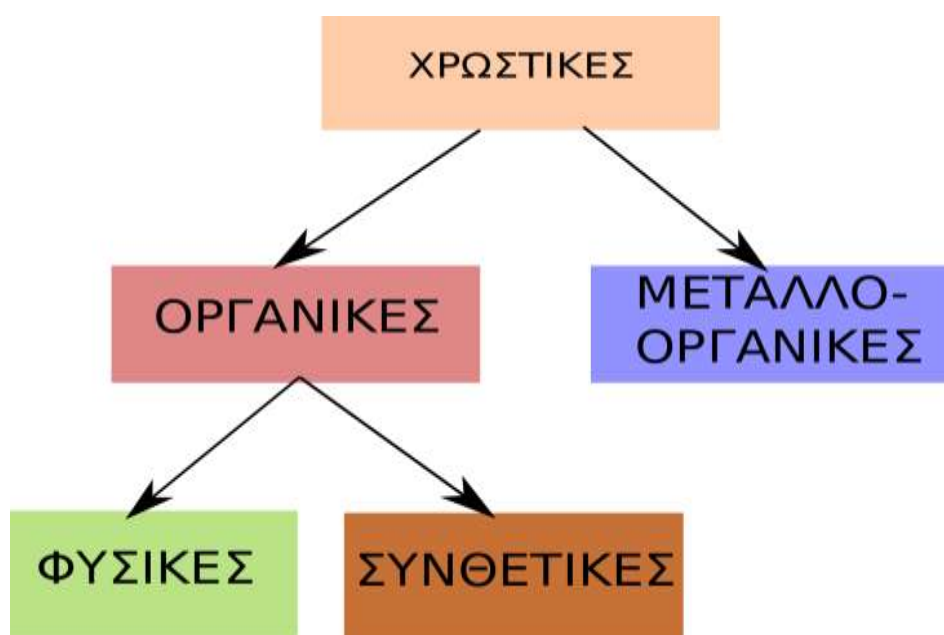


Εικ. 3.14: Μπορούμε να διακρίνουμε τα μόρια του διαλύματος που θέλουμε να εναποθέσουμε πάνω στο δείγμα πώς βγαίνουν από το πιστόλι βαψίματος για να πάνε να καθίσουν πάνω στοπ γυαλί.

3.4.3 Ευαισθητοποιητές που χρησιμοποιούνται στα φωτοβολταϊκά τύπου DSSC

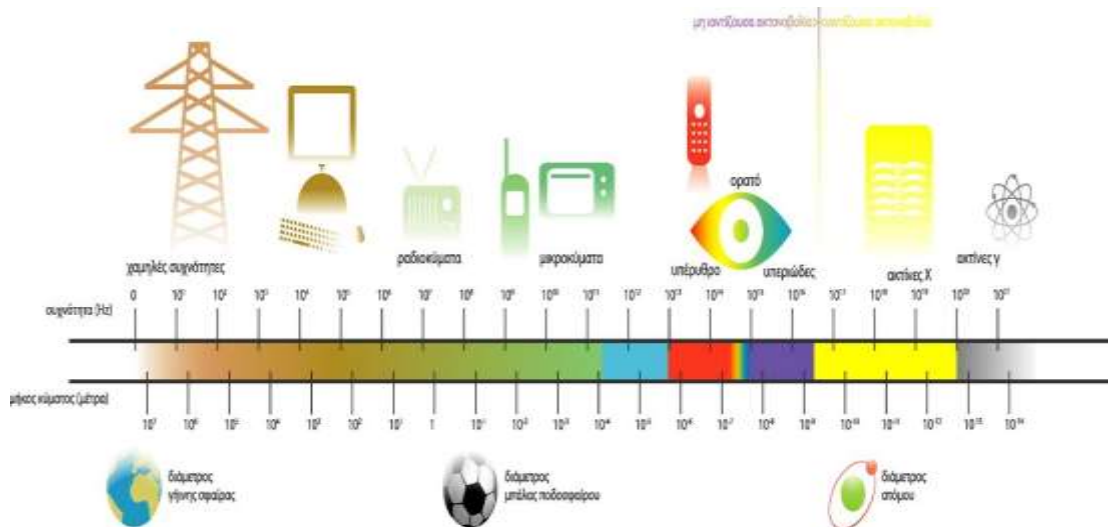
- Χρωστική

Μια χρωστική που είναι ίσως γνωστή σε όλους τους ανθρώπους είναι η μελανίνη είναι ένας από τους παράγοντες που δίνουν το καθοριστικό χρώμα στο δέρμα κάθε ανθρώπου. Οι χρωστικές που χρησιμοποιούνται στα DSSC είναι αρκετών ειδών κάποιες εξάγονται από φυτά άλλες παράγονται στα εργαστήρια κυρίως από άτομα με αρκετή εμπειρία στον χώρο ,αφού είναι δύσκολο κάποιος να συνθέσει μία χρωστική και αυτή να μπορεί να είναι κατάλληλη για την χρήση της σε φωτοβολταϊκά στοιχεία. Έναν πολύ σημαντικό ρόλο στα DSCs τον έχουν οι ευαισθητοποιητές, από τις χρωστικές εξαρτάται η απορροφητικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας και μετά αφού τα φωτόνια θα φτάσουν στην χρωστική από αυτήν εξαρτάται το πόσο εύκολο θα είναι για τα ηλεκτρόνια να μεταπηδήσουν στην ζώνη αγωγιμότητας της τιτάνιας (ημιαγωγού).



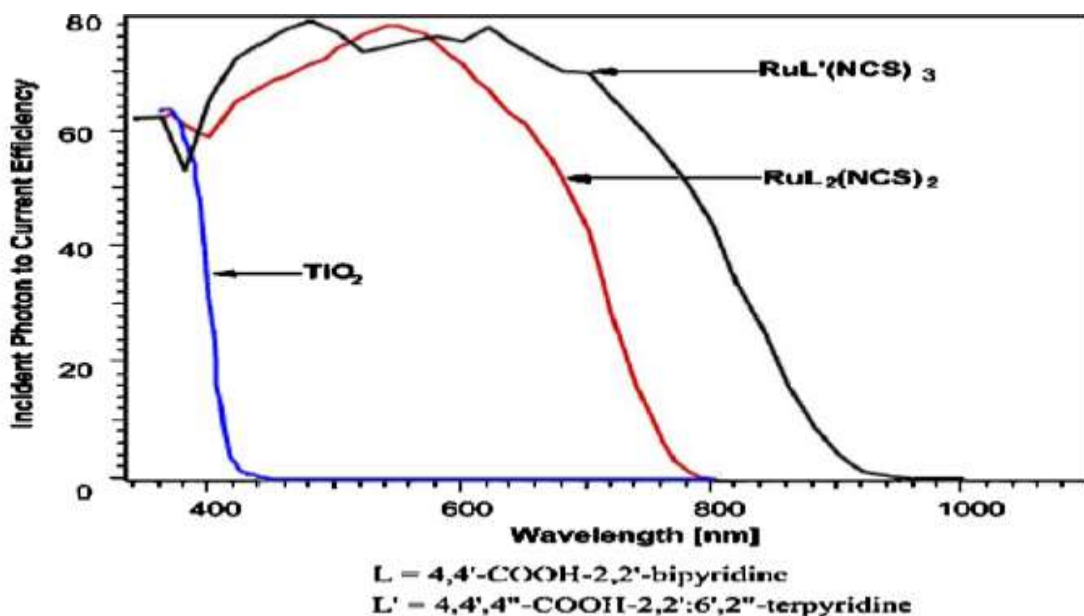
Εικ. 3.15: Είδη χρωστικών για χρήση σε φωτοβολταϊκά

Οι χρωστικές απορροφούν σε διάφορα μήκη κύματος του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.



Εικ. 3.16: Διάφορες εφαρμογές ανάλογα το μήκος κύματος και την συχνότητά τους, βλέπουμε τις τεράστιες διαστάσεις που μπορεί να έχει το μήκος κύματος ανάλογα και την εφαρμογή ή αντίστοιχα και πόσο μικρό μπορεί να είναι. Οι χρωστικές κυρίως λειτουργούν στο ορατό κομμάτι της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

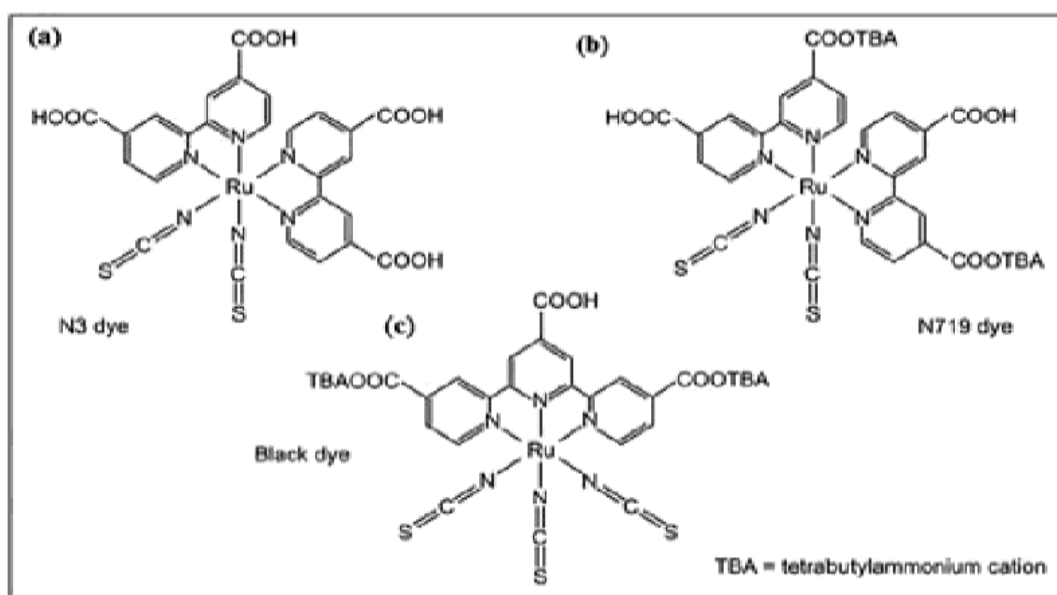
https://www.eett.gr/opencms/opencms/EETT/Electronic_Communications/Antennas_EMR/health/EMR_radiation/EMRadiation/



Εικ. 3.17: Βλέπουμε τα μήκη κύματος που απορροφούν η χρωστικές και η τιτάνια και που έχουμε το μέγιστο IPCE.

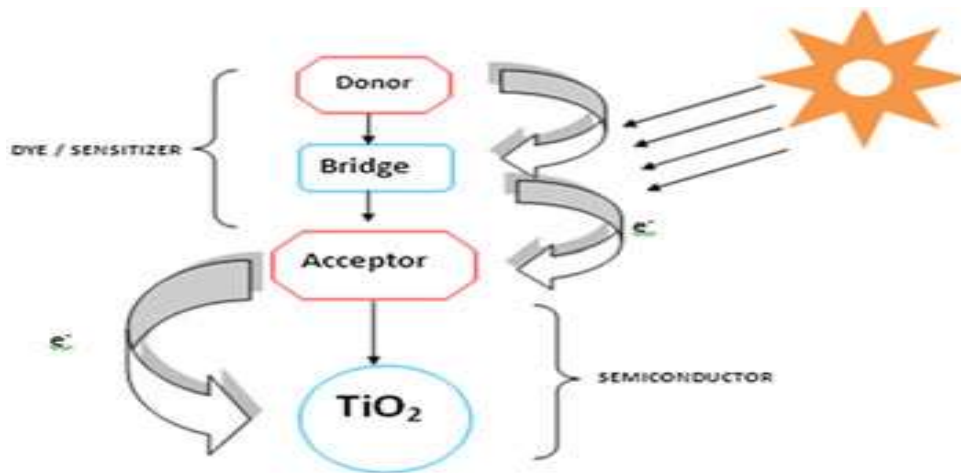
<https://www.semanticscholar.org/paper/Hybrid-solar-cells-G%C3%BCne%C5%9F-Sariciftci/40b1e125e5223f08499bde4a06d927de7943f3a/figure/>

Ένα πολύ σημαντικό κομμάτι είναι η σωστή δομή των χρωστικών, όπως βλέπουμε στους συντακτικούς τύπους έχουμε κάποιες καρβοξυλομάδες (COOH), αυτές είναι υπεύθυνες για την πρόσδεση της χρωστικής πάνω στον ημιαγωγό σε ξένη βιβλιογραφία αναφέρονται και ως anchoring groups.



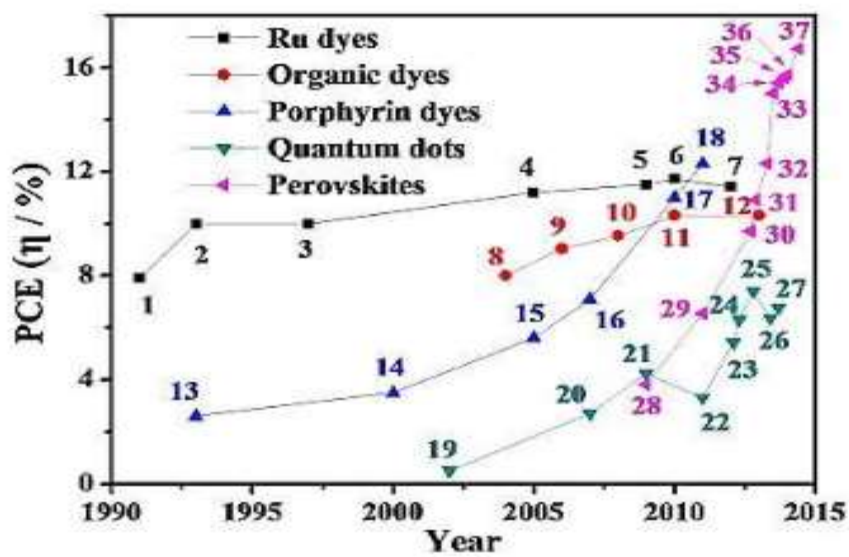
Εικ. 3.18: Συντακτικοί τύποι διαφόρων χρωστικών με βάση το ρουθένιο, βλέπουμε και τα σημεία πρόσδεσης.

https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structures-of-Ru-complexes-a-N3-dye-b-N719-dye-and-c-black-dye_fig2_301622913



Εικ. 3.19: Διάγραμμα δότη ηλεκτρονίων που είναι η χρωστική, γέφυρας όπου μεσολαβεί για να περάσουν τα ηλεκτρόνια από την χρωστική στον ημιαγωγό και ο δέκτης που είναι ο ημιαγωγός.

https://www.researchgate.net/figure/D-p-A-donor-pi-acceptor-dye-structure-and-its-function_fig1_301622913

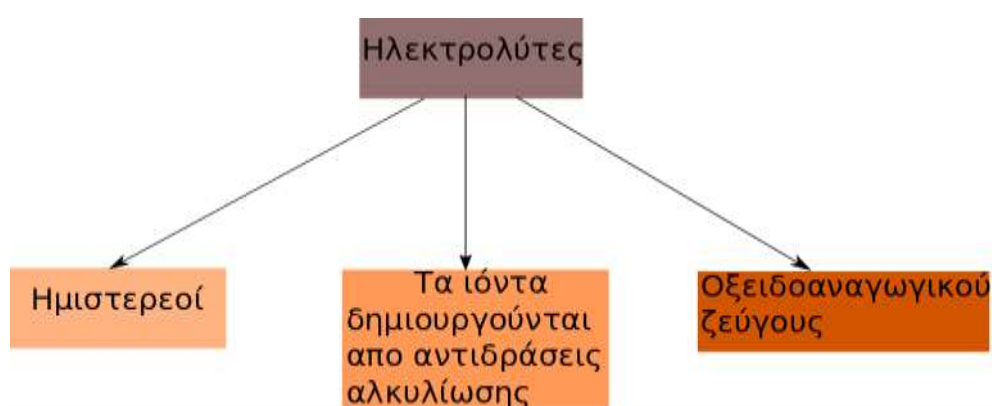


Εικ. 3.20: Η πορεία των χρωστικών που χρησιμοποιούνται από το 1990 έως και το 2015.

<https://docplayer.gr/63628144-Ethniko-metsovio-polytehneio.html>

3.4.4 Ηλεκτρολύτης

Οι ηλεκτρολύτες βρίσκονται σε πάρα πολλές εφαρμογές. Χρησιμοποιούνται γιατί παρέχουν ιόντα (φορτισμένα με θετικό ή ηλεκτρικό φορτίο άτομα) σε διαλύματα και αυτά τότε μπορούν να γίνουν αγώγιμα. Ο ηλεκτρολύτης φτιάχνεται προς το τέλος της διαδικασίας για την δημιουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου τύπου DSSC. Ουσιαστικά ο ηλεκτρολύτης παρέχει ηλεκτρόνια στην χρωστική, αυτό συμβαίνει όταν η χρωστική διεγερθεί από την ηλιακή ακτινοβολία, τα ηλεκτρόνια σθένους τότε περάσουν στην ζώνη αγωγιμότητας του ημιαγωγού, αφήσουν έτσι κενές θέσεις (οπές) και έπειτα πάνε από την άνοδο προς την πλατίνα. Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται έτσι ο ηλεκτρολύτης μας θέλουμε να έχει μεγάλη διάρκεια ζωής.



Εικ. 3.21: Παραπάνω απεικονίζονται τα είδη των ηλεκτρολυτών.

3.5 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα ενσωμάτωσης φωτοβολταϊκών στοιχείων στα κτήρια

Όπως γνωρίζουμε ήδη, τα φωτοβολταϊκά μπορούν να μπουν σε συστοιχίες σε ταράτσες κτηρίων ή ακόμη και σε εγκαταστάσεις σε χωράφια. Όμως μπορούμε πλέον με την τεχνολογία που διαθέτουμε να προσαρμόσουμε φωτοβολταϊκά στα δομικά υλικά ενός κτηρίου. Έτσι πλέον τίθενται ζητήματα αρχιτεκτονικής και τεχνολογίας των υλικών.

Η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών στα κτήρια έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Η εφαρμογή τους μπορεί να γίνει σε σημεία όπου δεν χρειάζεται εκ νέου διαμόρφωση του χώρου και με αυτόν τον τρόπο να αντικαταστήσουν διάφορα δομικά υλικά του κτηρίου



- Μπορούν να καλύψουν με αυτόν τον τρόπο τις ανάγκες για ηλεκτρική ενέργεια της εκάστοτε εφαρμογής
- Η αισθητική τους είναι αρκετά καλή
- Κτήρια όπου αντιμετωπίζουν πρόβλημα με τα θεμέλιά τους και δεν πρέπει να προστεθεί σε αυτά μεγάλο βάρος μπορούν να επωφεληθούν από τέτοιου είδους εφαρμογές
- Όπως βλέπουμε και στην φωτογραφία παραπάνω τα φωτοβολταϊκά που ενσωματώνονται στα κτήρια ,μπαίνουν κυρίως σε εφαρμογές όπως ουρανοξύστες και μεγάλα κτήρια όπου η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστοιχιών είναι δύσκολη έως και αδύνατη αρκετές φορές.

Τα BIPV όμως έχουν και αρκετά σοβαρά μειονεκτήματα όπως:

- Κόστος υλικών για την εφαρμογή τους πάνω στα κτήρια
- Είναι δύσκολο και αντιοικονομικό να μπουν σε παλιά κτήρια

3.6 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα ενσωμάτωσης ηλεκτροχρωμικών στοιχείων στα κτήρια

Από την αξιοποίηση των ηλεκτροχρωμικών συσκευών στα κτήρια τόσο για θερμοκρασιακές όσο για οπτικές συνθήκες, προκύπτουν κάποια θετικά αποτελέσματα:

1) μειωμένα φορτία ψύξης και θέρμανσης. Απορροφώντας την προσπίπτουσα ακτινοβολία οι ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες επιτρέπουν τη διατήρηση της θερμοκρασίας του χώρου στα επιθυμητά επίπεδα ή κοντά σε αυτά με αποτέλεσμα να καταναλώνονται μικρότερα ποσά ενέργεια για τη διατήρηση συνθηκών άνεσης.

2) μειωμένη εγκατεστημένη κλιματιστική ισχύ. Παράλληλα με τη μείωση των φορτίων ψύξης και θέρμανσης είναι εφικτή η μείωση της ισχύος των κλιματιστικών συστημάτων και κατά συνέπεια ακόμη μικρότερη κατανάλωση ενέργειας αλλά και κόστος απόκτησης.

3) μειωμένες απαιτήσεις τεχνητού φωτισμού, καθώς ελέγχουν το ποσοστό της ακτινοβολίας που εισέρχεται στο χώρο χωρίς να εμποδίζουν το πρωινό ή το απογευματινό φως να εισέλθει, όταν είναι απαραίτητο.

4) συμβολή στην επίτευξη του στόχου για τη δημιουργία κτηρίων σχεδόν μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας. Συνδυάζοντας τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα με ταυτόχρονη μόνωση και των υπόλοιπων επιφανειών του κτηρίου μπορεί να επιτευχθεί ελάχιστη ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ κτηρίου και εξωτερικού περιβάλλοντος.

5) βελτιωμένη αισθητική συμπεριφορά εξαιτίας της δυναμικότητας που τις χαρακτηρίζει ως προς την αλλαγή της οπτικής τους κατάστασης.

6) υγιή διαβίωση και αυξημένη παραγωγικότητα των όσων ζουν ή εργάζονται στους αντίστοιχους χώρους εξαιτίας της βέλτιστης κάθε φοράς σύνδεσης του εσωτερικού και του εξωτερικού περιβάλλοντος.

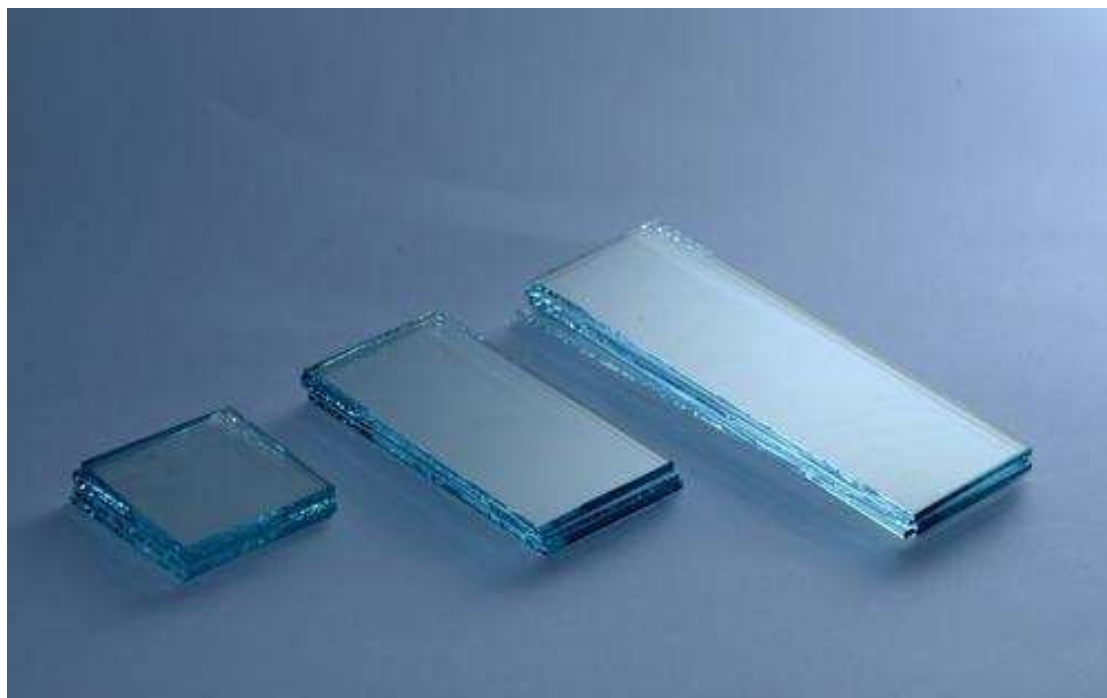
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 Πειραματική Διαδικασία για φωτοβολταϊκά στοιχεία τεχνολογίας τύπου DSSC

Τα πειράματα που πραγματοποιήσαμε είχαν σκοπό την δημιουργία δειγμάτων από φωτοβολταϊκά τύπου DSSC και ηλεκτροχρωμικών γυαλιών .Η διαδικασία για την δημιουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου τεχνολογίας DSSC σε ένα εργαστήριο είναι σχετικά απλή, οι δυσκολίες βρίσκονται στα θέματα σύνθεσης διαφόρων διαλυμάτων και τεχνικών που χρειάζονται καθ' όλη την διάρκεια των πειραμάτων. Παρακάτω αναλύονται τα στάδια των πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο νανοτεχνολογίας και προηγμένων υλικών.

Δημιουργία φωτοβολταϊκού στοιχείου

Ξεκινάμε παίρνοντας το γυαλί.



Εικ. 4.1: Διάφοροι τύποι γυαλιών που χρησιμοποιούνται, επιλέγουμε πάντα ανάλογα με το πείραμα που θα πραγματοποιήσουμε.

<https://www.indiamart.com/proddetail/fto-coated-glass-substrate-10100620291.html>

Υπάρχουν διάφοροι τύποι, ο κάθε τύπος παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά μερικά βασικά χαρακτηριστικά είναι :

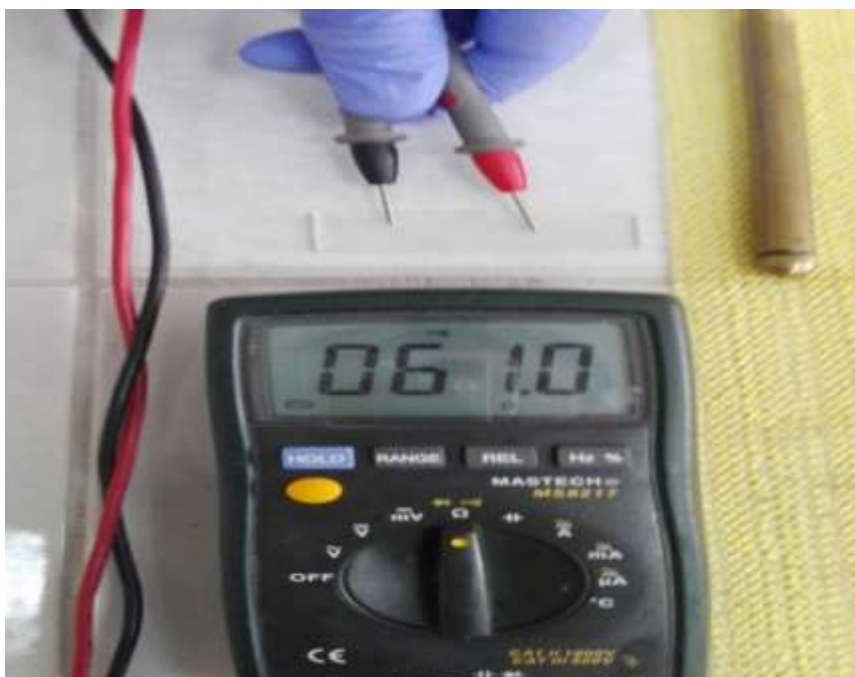
- Πάχος γυαλιού
- Αγωγιμότητα
- Πάχος FTO

Τύποι γυαλιών :

- TEC 8
- TEC 10
- TEC 15

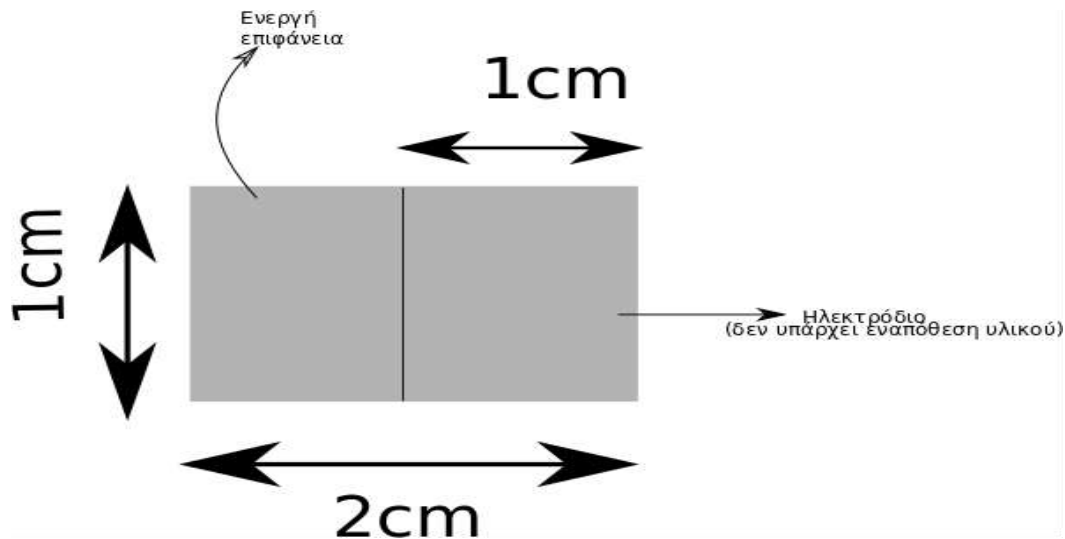
Το γυαλί στην μία μεριά του έχει μία φθοριούχα ένωση (fluorine doped tin oxide, FTO) αυτή η φθοριούχα ένωση προστίθεται για να αυξήσει αγωγιμότητα και για την καλύτερη μετάδοση του φωτός.

Αρχικά παίρνουμε το κομμάτι γυαλί , με την βοήθεια πολυμέτρου βρίσκουμε ποια είναι η αγώγιμη μεριά (FTO) έχοντας ρυθμίσει το όργανο στην μέτρηση ωμικής αντίστασης.



Εικ. 4.2: Αγγίζουμε σωστά και με απόσταση τα 2 άκρα του πολυμέτρου για να εντοπίσουμε την αγώγιμη μεριά πάνω στο γυαλί που θα χρησιμοποιήσουμε πριν το κόψουμε με το διαμάντι.

Αφού εντοπίσουμε την αγώγιμη πλευρά , σημειώνουμε τις διαστάσεις που θέλουμε πάνω στο γυαλί και έπειτα χαράζουμε με διαμάντι και κόβουμε, αφού έχουμε σιγουρευτεί ότι κόψαμε σωστά το γυαλί το χωρίζουμε με προσοχή. Οι διαστάσεις που χρησιμοποιήθηκαν στα πειράματα ήταν η εξής:

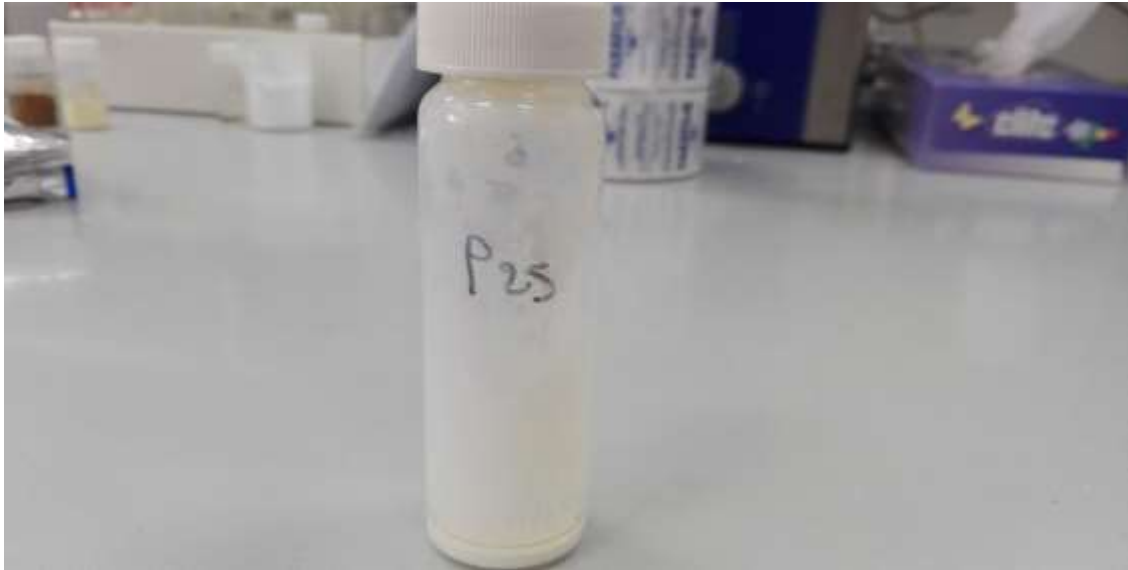


Εικ. 4.3: Απεικόνιση ενός δείγματος με 2 τετραγωνικά εκατοστά εμβαδόν βλέπουμε τα μέρη να διαχωρίζονται με μια γραμμή στην μέση (μολύβι στην πραγματικότητα) και τα βέλη δείχνουν τον σκοπό της κάθε επιφάνειας.

Παρατηρούμε στην εικόνα πως έχουμε 2 μέρη πάνω στο γυαλί, την ενεργή επιφάνεια και το ηλεκτρόδιο. Η ενεργή επιφάνεια είναι αυτή όπου έχουμε μετρήσει πως είναι η αγώγιμη (FTO), εκεί θα προσθέσουμε τον ημιαγωγό. Η άλλη μεριά είναι το ηλεκτρόδιο όπου μένει καθαρή από υλικά μέχρι την τελική διαδικασία των μετρήσεων.

Χρησιμοποιήσαμε 2 ημιαγωγούς:

- 1) Μεσοπορώδη τιτάνια mp-TiO₂
- 2) Degussa



Εικ. 4.4: Εδώ βλέπουμε την Degussa είναι παχύρευστη (μεγάλο ιξώδες), το χρώμα της όπως φαίνεται είναι λευκό.

Η διαδικασία για την παραγωγή του κάθε ημιαγωγού διαφέρει , επίσης διαφέρουν και σε όψη!!

- Μεσοπορώδης τιτάνια mp-TiO₂ συνταγή:
4ml i-ProH + 0,5gr P123 έπειτα αναδεύω για t=10min
+ 0,4ml acetic acid και αναδεύω
+0,37gr butoxide και αναδεύω

Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια της παραγωγής κάθε μείγματος, θα πρέπει να καθαρίζονται κατάλληλα και να στεγνώνονται σωστά έτσι ώστε να μην υπάρχει υγρασία και μας επηρεάσει στην λειτουργία του κελιού.

Η κρυσταλλική μορφή που σχηματίζουν συνήθως οι παραπάνω ημιαγωγοί είναι η ανατάση. Για την χρήση οποιουδήποτε ημιαγωγού από τους 2 που προαναφέρθηκαν, πρώτα πρέπει να εναποθέσουμε στην ενεργή επιφάνεια κάποιες στρώσεις από c-TiO₂.



Εικ. 4.5: Η συμπαγής τιτάνια έχει σχεδόν κίτρινο χρώμα, είναι φωτοευαίσθητη και έτσι καλύπτεται το δοχείο εξωτερικά με αλουμινόχαρτο για να περιορίσουμε τις ακτίνες φωτός να την επηρεάζουν

- Συμπαγής τιτάνια c-TiO₂ συνταγή:

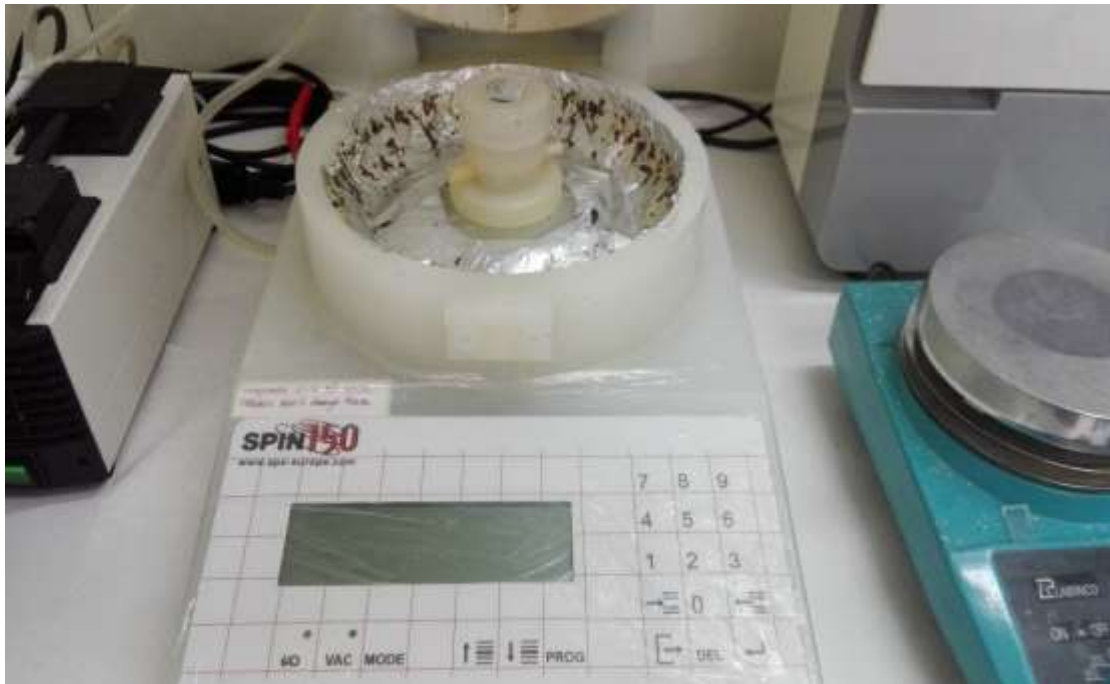
1) 1 ml Tiacac +2 ml i-proH» c-TiO₂

Έπειτα αναδεύω με μαγνητάκι για t=10min

Αυτές οι στρώσεις έχουν σκοπό την αποφυγή της επανασύνδεσης των ηλεκτρονίων που έχουν διεγερθεί από την προσπίπτουσα ακτινοβολία με τα μέρη του ηλεκτρολύτη που έχουν χάσει ηλεκτρόνια (έχουν υποστεί οξείδωση). Τα μόρια της c-TiO₂ έχουν περίπου μέγεθος 400nm ενώ τα μόρια της mp-TiO₂ μόλις 20 nm. Ο λόγος που έχει τόσο μεγάλα μόρια της c-TiO₂ είναι πρακτικός και έχει να κάνει με την σκέδαση των φωτονίων με σκοπό αυτά να επιστρέφουν στην χρωστική.

- Στρώσεις mp-TiO₂ 15
- Στρώσεις c-TiO₂ 4

Ο αριθμός των στρώσεων έχει υπολογιστεί πως είναι αποδοτικός από προηγούμενα πειράματα του εργαστηρίου. Η εναπόθεση του υλικού πάνω στην ενεργή επιφάνεια γίνεται πιπέτα (αυτόματη ή και απλή) αφού πρώτα έχουμε τοποθετήσει το γυαλί μας στον spin coater



Εικ. 4.6: Ο spin coater περιστρέφει με κάποια ταχύτητα της επιλογής μας το δείγμα όπως φαίνεται και τώρα, για να απλωθεί ομοιόμορφα το υλικό στην ενεργή επιφάνεια. Η ταχύτητα που θέλουμε μπορεί να επιλεγεί έχοντας δημιουργήσει ένα πρόγραμμα και επιλέγοντας με τις κατάλληλες κινήσεις από το από το πλαίσιο με τα κουμπιά που φαίνεται.

Ρίχνουμε με προσοχή το υλικό και απλώνουμε προσεκτικά με την πιπέτα να απλωθεί σε όλη την ενεργή επιφάνεια, μετά βάζουμε στο ανάλογο πρόγραμμα τον spin coater !!ανάλογα με τι υλικό εναποθέτουμε. Κάθε φορά που πραγματοποιούμε κάποια στρώση ανεξάρτητα αν είναι συμπαγή ή μεσοπορώδης τιτάνια θα πρέπει να βάζουμε τα δείγματα μας στην φούρνο αφού πρώτα καθαρίσουμε κάθε μεριά του γυαλιού εκτός από την ενεργή με ακετόνη, έτσι επιτυγχάνουμε την αποφυγή μόλυνσης της μεριάς που θα χρησιμοποιήσουμε ως ηλεκτρόδιο και έτσι την αποφυγή βραχυκυκλώματος και επίσης δεν θα έχουμε στάμπες από το υλικό μας στην μεριά όπου θα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία, αποφεύγοντας έτσι πιθανόν μείωση απόδοσης του στοιχείου. Εφόσον καθαρίσουμε το δείγμα μας, το τοποθετούμε με προσοχή στον φούρνο πάνω σε σχάρες στου 500⁰C για 10 λεπτά. Με το ψήσιμο επιτυγχάνουμε καλύτερη κρυσταλλοποίηση του ημιαγωγού, εξατμίζεται κάθε υγρασία που μπορεί να υπάρχει και κάθε οργανικό στοιχείο.

Τώρα η διαδικασία όταν χρησιμοποιήσουμε την Degussa αλλάζει η στρώσεις της συμπαγής τιτάνιας παραμένουν ίδιες, όμως τώρα αντί να κάνουμε εναποθέσεις του ημιαγωγού στον spin coater,εναποθέτουμε το υλικό μας πάνω στην ενεργή επιφάνεια

και με την βοήθεια της πιπέτας σαν σπάτουλα απλώνουμε ομοιόμορφα το υλικό, η τεχνική αυτή ονομάζεται doctor blade.! Εναποθέτουμε μία στρώση και ψήνουμε στην ίδια θερμοκρασία και στα ίδια λεπτά που ψήνουμε για την μεσοπορώδη τιτάνια.

Οργανική χρωστική από Σλοβενία



Εικ. 4.7: Οι χρωστικές που χρησιμοποιήσαμε στα πειράματα είναι σε σκόνη, φαίνονται στο δοχείο τους κλεισμένες πολύ καλά με παραφίλμ για την αποφυγή μόλυνσής τους, επίσης τις τοποθετούμε σε χώρο κλειστό μακριά από οποιοδήποτε φωτισμό.

Οι χρωστικές SIG -TPC-1 που είναι οργανικές έρχονται σε μορφή σκόνης και χρειάζονται μια κάποια διαδικασία για να είναι έτοιμες προς χρήση. Αφού τις ετοιμάσουμε τις τοποθετούμε στο ψυγείο επειδή είναι φωτοευαίσθητες, επίσης τις τοποθετούμε σε καλά κλεισμένα δοχεία με parafilm (διαφανές αεροδιαπερατό φιλμ για την σφράγιση και στεγανοποίηση όλων των σκευών εργαστηρίου.) Όταν έρθει η στιγμή για την χρήση τους πρέπει, να τις αφήσουμε κάποιο χρονικό διάστημα να πάρουν θερμοκρασία δωματίου. Στα πειράματα επίσης τοποθετήθηκαν και σε λουτρό υπερήχων όπου φαίνεται παρακάτω ο χρόνος που ρυθμίσαμε ήταν 10 min. Ο λόγος που τοποθετήθηκαν εκεί ήταν για την αύξηση της διαλυτότητας της χρωστικής, αφού πρώτα είχαμε παρατηρήσει κάποιους κόκκους από την σκόνη της.



Εικ. 4.8: Παραπάνω απεικονίζεται το λουτρό υπερήχων που χρησιμοποιήθηκε στα πειράματα, βλέπουμε τις επιλογές χρόνου που έχουμε και θερμοκρασίας, με την πίεση του πλήκτρου start ξεκινά η διαδικασία.

Χρειάζονται 30 λεπτά για να προσκολληθούν στην επιφάνεια του κελιού μας πάνω στον ημιαγωγό πολύ λιγότερο σε σχέση με άλλες χρωστικές όπου μπορεί να χρειάζονται ώρες.



Εικ. 4.9: Μερικά από τα δείγματα των οργανικών χρωστικών που χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των πειραμάτων. Οι χρωστική που χρησιμοποιήσαμε είναι η SIG -TPC-1, όπου από την μορφή σκόνης φτιάξαμε τα παραπάνω διαλύματα.

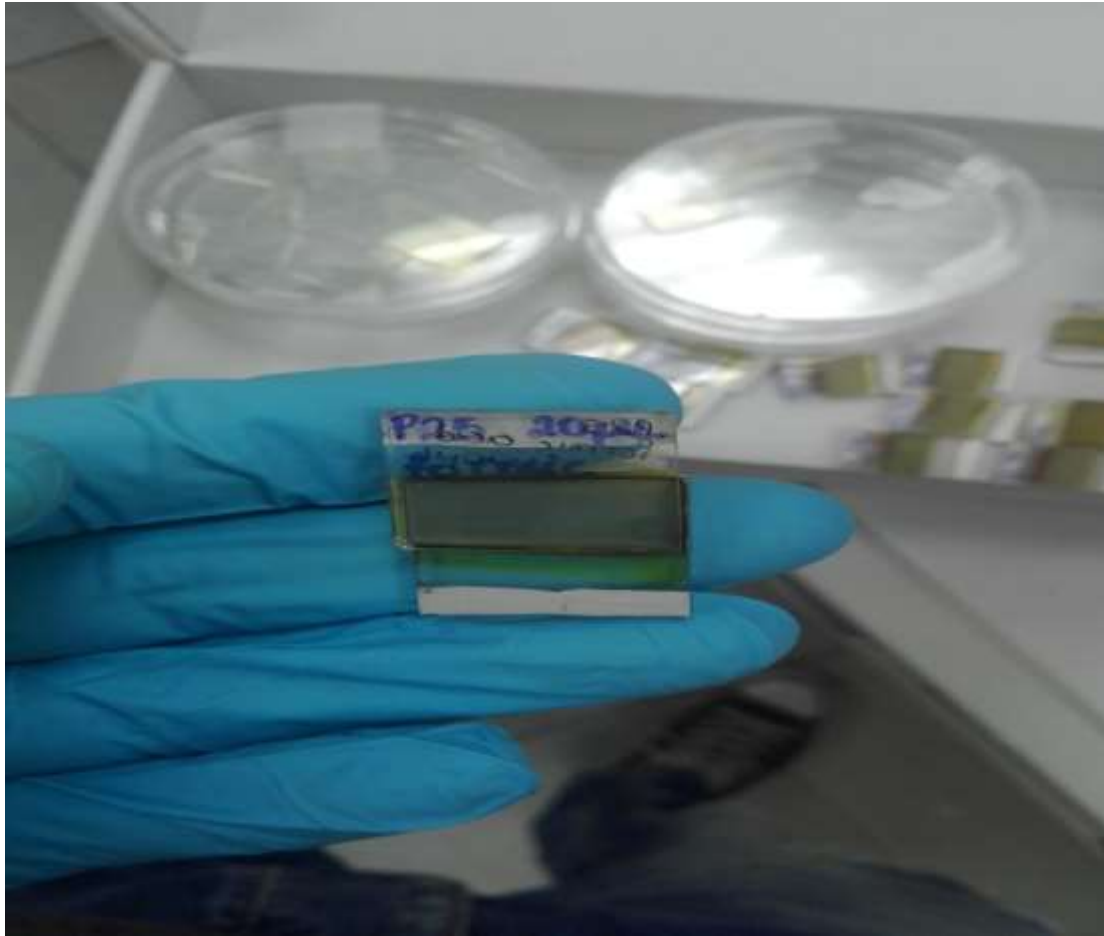
Για να καταφέρουμε η χρωστική να απορροφηθεί παίρνουμε κάποια ποτηράκια ζέσεως και τοποθετούμε μέσα σε αυτά την χρωστική αφού πρώτα την έχουμε αφήσει εκτός ψυγείου για να πάρει θερμοκρασία δωματίου, ακόμη μπορούμε να την τοποθετήσουμε και στο λουτρό υπερήχων.



Εικ. 4.10 Ένα ποτήρι ζέσεως όπου βλέπουμε πως έχει και δείκτη για τον προσδιορισμό της ποσότητας του διαλύματος μέσα του.

Για την κατασκευή της καθόδου , απλά ετοιμάζουμε το υλικό μας ,εναποθέτουμε με πιπέτα το υλικό πάνω στο γυαλί και το απλώνουμε ομοιόμορφα με την τεχνική casting και μετά ψήνουμε στου 500⁰C για 10 λεπτά.

Αφού ετοιμάσουμε και την κάθοδο τώρα είμαστε πολύ κοντά στην υλοποίηση του ηλιακού μας κελιού, μας μένει ο ηλεκτρολύτης. Ακολουθώντας πιστά την συνταγή και αναμιγνύοντας κάθε φορά με την πρόσθεση κάποιου υλικού ετοιμάζουμε τον ηλεκτρολύτη, τώρα πρέπει να ξεκινήσουμε γρήγορα την διαδικασία για να ενώσουμε πλατίνα και το γυαλί με τον ημιαγωγό, άρα έρχεται ουσιαστικά ο ηλεκτρολύτης να ενώσει αυτά τα 2 μέρη. Τώρα τα σταθεροποιούμε μέχρι να πήξει ο ηλεκτρολύτης και να ξεκινήσουμε την διαδικασία των μετρήσεων .



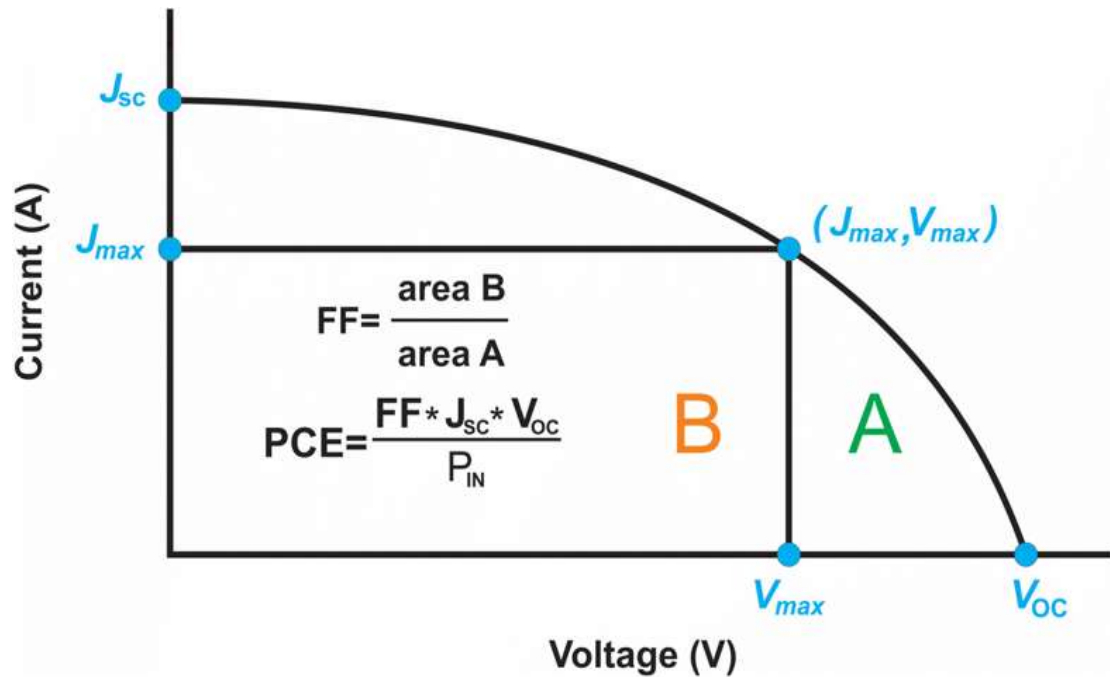
Εικ. 4.11: Βλέπουμε ένα έτοιμο δείγμα όπου έχουν τοποθετηθεί όλα τα υλικά και έχουν παρθεί ήδη μετρήσει για να υπολογίσουμε την απόδοση του κάτω από πηγή φωτεινής έντασης.

- Ημιαγωγός : Degussa
- Χρωστική : SIG -TPC-1

Αποτελέσματα πειραμάτων και απεικόνιση τους με το πρόγραμμα origin pro 8

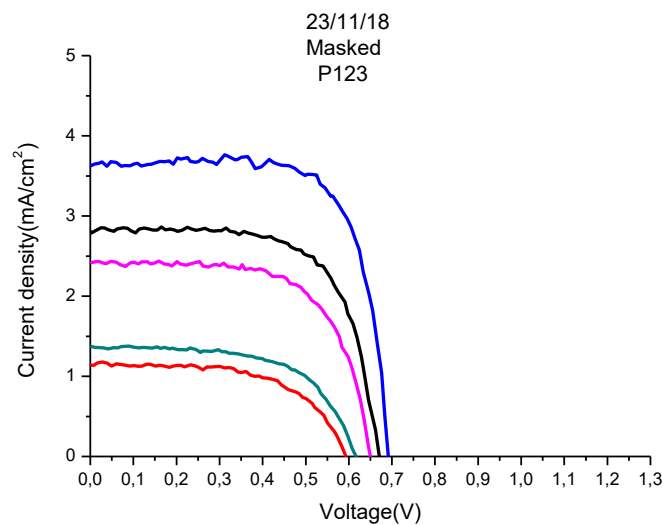
Πραγματοποιήσαμε τα πειράματα με την οργανική χρωστική SIG-TPC-1 και με 2 διαφορετικούς ημιαγωγούς την Degussa (P25) και την μεσοπορώδη τιτάνια (mp-TiO_2). Επίσης στα συγκεκριμένα πειράματα χρησιμοποιήσαμε διαφορετικά οξέα και διαλύτες για να εξετάσουμε πως συμπεριφέρεται η χρωστική μας σε αυτά και εν συνεχεία ποια θα είναι η απόδοση του δείγματος μας με καθένα από αυτά. Θα παρατηρήσουμε παρακάτω ενδιαφέρον αλλαγές με την χρήση κάθε ημιαγωγού , επίσης και με τα διαφορετικά οξέα παρατηρήσαμε κάποιες μεταβολές στην πυκνότητα του ρεύματος κυρίως. Οι γραφικές που ακολουθούν στις επόμενες σελίδες είναι γραφικές ρεύματος τάσης (I-V) ,είναι πολύ σημαντικές για να δούμε και να

κατανοήσουμε την λειτουργία του φωτοβολταϊκού στοιχείου για την απεικόνιση τους χρησιμοποιήσαμε το πρόγραμμα origin pro 8. Τα δείγματα τα βάλουμε κάτω από μια λάμπα που αναπαριστά τον ήλιο με $1000(W/m^2)$. Πριν δούμε τις πειραματικές γραφικές ,μπορούμε να δούμε μία χαρακτηριστική ρεύματος τάσης για να καταλάβουμε την σημασία της γραφικής αυτής



Εικ. 4.12: J-V Χαρακτηριστική ,φαίνονται η τάση ανοιχτού κυκλώματος και το ρεύμα βραχυκύκλωσης.

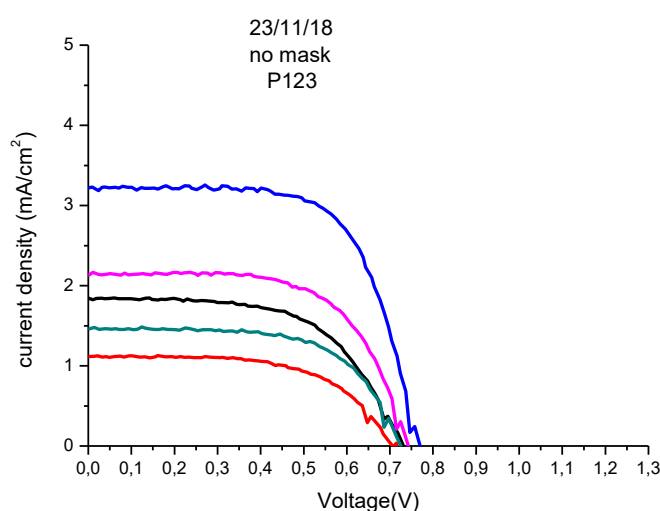
23-11-18



J-V Χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού στοιχείου τύπου DSCs

- Μαύρη γραφική 10μL φορμικό οξύ
- Κόκκινη γραφική 20 μL φορμικό οξύ
- Μπλε γραφική 5 μL οξικό οξύ
- Πράσινη γραφική 5μL φορμικό οξύ
- ροζ γραφική χωρίς οξύ

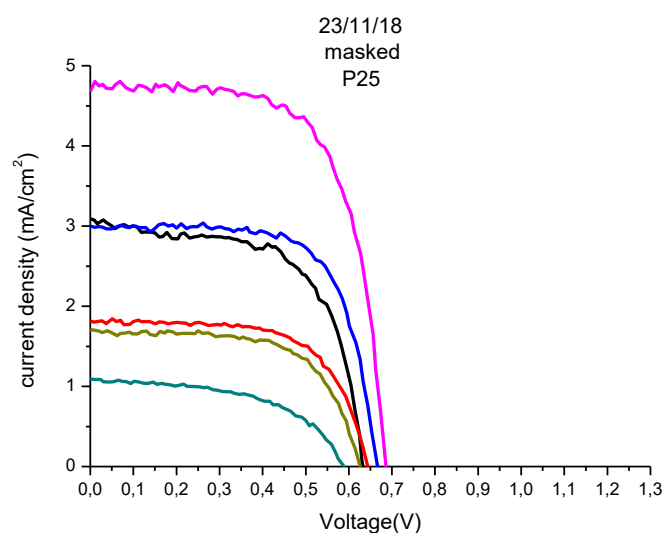
Παρατηρήσεις: Ο ημιαγωγός που χρησιμοποιήσαμε εδώ είναι η μεσοπορώδη τιτάνια (mp-TiO_2). Έχουμε προσθέσει στην επιφάνεια του δείγματος μάσκα για να επικεντρωθούμε με αυτόν τον τρόπο σε μικρότερο εμβαδόν. Με την χρήση οξικού οξέος 5 μL βλέπουμε πως έχουμε αυξημένη πυκνότητα ρεύματος και τάση, αντιθέτως με την χρήση φορμικού οξέος δεν έχουμε παρόμοια πυκνότητα ρεύματος και τάση, μειώνεται αρκετά η τάση και η πυκνότητα ρεύματος με την αύξηση της συγκέντρωσης του φορμικού οξέος. Επιπλέον μπορούμε να δούμε και την ροζ γραφική όπου δεν έχουμε προσθέσει κάποιο οξύ και η πυκνότητα ρεύματος και η τάση έχουν μεγαλύτερες τιμές συγκριτικά με την πράσινη και κόκκινη γραφική όπου αφορούν τα 5μL φορμικού οξέος και τα 20 μL φορμικό οξύ αντίστοιχα.



J-V Χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού στοιχείου τύπου DSCs

- μαύρη γραφική 10 μL φορμικό
- κόκκινη γραφική 20 μL φορμικό
- μπλε γραφική 5 μL οξικό
- πράσινη γραφική 5 μL φορμικό
- ροζ γραφική χωρίς οξύ

Παρατηρήσεις: Εδώ είναι ακριβώς τα ίδια δείγματα με πριν απλά χωρίς μάσκα βλέπουμε πώς η πυκνότητα ρεύματος είναι μικρότερη και αυτό γιατί το εμβαδόν είναι μεγαλύτερο πλέον και είναι ολόκληρη η ενεργή επιφάνεια.

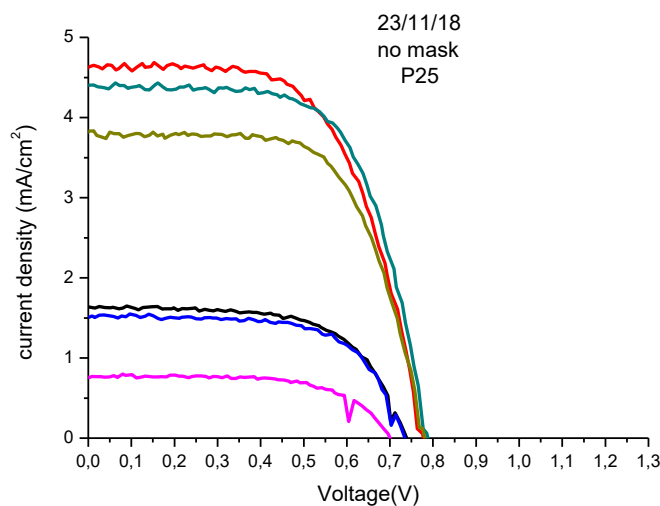


J-V Χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού στοιχείου τύπου DSCs

- μαύρη γραφική χωρίς οξύ
- κόκκινη γραφική 10 μL φορμικό οξύ
- μπλε γραφική 20 μL οξικό οξύ
- πράσινη γραφική 20 μL φορμικό οξύ
- ροζ γραφική 5 μL οξικό οξύ
- λαδί γραφική 5 μL φορμικό οξύ

Παρατηρήσεις: Εδώ έχοντας χρησιμοποιήσει Degussa , παρατηρούμε αρκετά μεγαλύτερη πυκνότητα ρεύματος στο σχεδόν σε όλα τα δείγματα, αλλά πολύ περισσότερο στο δείγμα με το οξικό οξύ 5 μL , βλέπουμε πόσο ψηλά φτάνει η ροζ

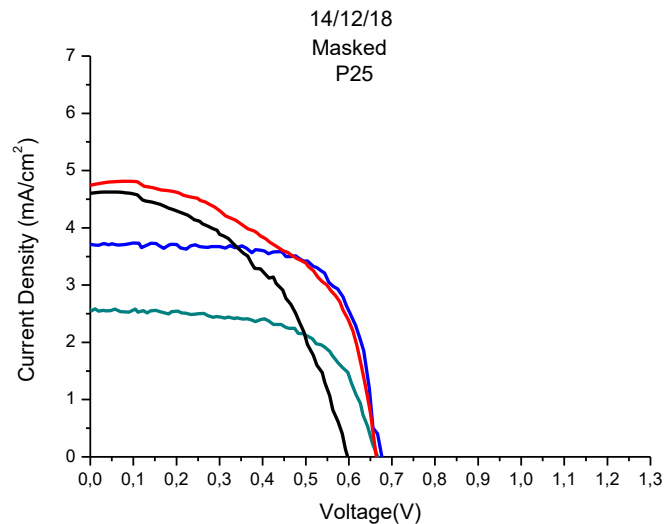
γραφική σε σχέση με άλλες. Επίσης παρατηρήσαμε με την Degussa πώς τα μόρια της χρωστικής προσκολλούσαν καλύτερα επάνω της σε σχέση με την μεσοπορώδη τιτάνια, επιπλέον κάπου εδώ συμπεράναμε πώς τα δείγματα λειτουργούσαν καλύτερα με το οξικό οξύ παρά με το φορμικό.



J-V Χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού στοιχείου τύπου DSCs

- Μαύρη γραφική 10 μL φορμικό οξύ
- Κόκκινη γραφική χωρίς οξύ
- Μπλε γραφική 5 μL φορμικό οξύ
- Πράσινη γραφική 5 μL οξικό οξύ
- Ροζ γραφική 20 μL φορμικό οξύ
- Λαδί γραφική 20 μL οξικό οξύ

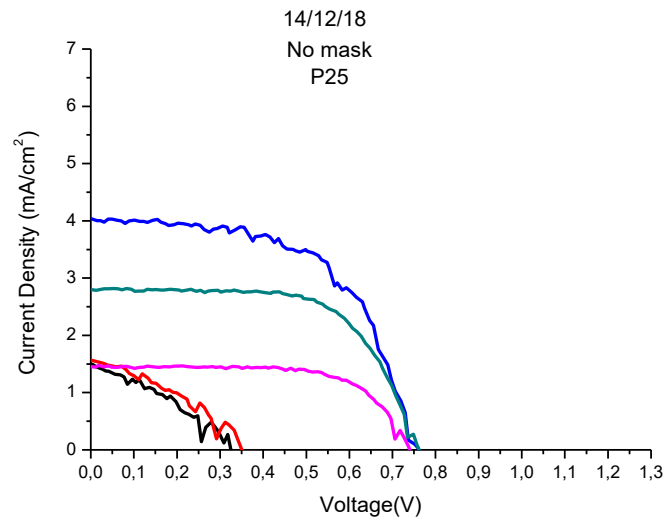
Παρατηρήσεις: Εδώ είναι τα αποτελέσματα χωρίς μάσκα παρατηρούμε όμως εδώ πως το δείγμα που είχαμε χωρίς την προσθήκη οξέος δείχνει μια πολύ αυξημένη πυκνότητα ρεύματος κάτι που δεν το περιμέναμε αφού στις προηγούμενες γραφικές που είδαμε με μάσκα δεν παρατηρήσαμε κάτι παρόμοιο.



J-V Χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού στοιχείου τύπου DSCs

- Μαύρη-κόκκινη γραφική 5 μL
- Μπλε γραφική 10 μL
- Πράσινη γραφική 20 μL

Παρατηρήσεις: Εδώ πλέον ξεκινάμε να δοκιμάζουμε δείγματα μόνο με οξικό οξύ και Degussa για ημιαγωγό, αφού στα προηγούμενα παρατηρήσαμε αξιοσημείωτα αποτελέσματα. Μπορούμε να δούμε πως οι γραφικές παραστάσεις με τα 5 μL οξικού οξέος μειώνονται πολύ απότομα και οι άλλες 2 γραφικές κρατούν ποιος σταθερές τιμές. Έχουμε χρησιμοποιήσει τολουόλιο για διαλύτη.

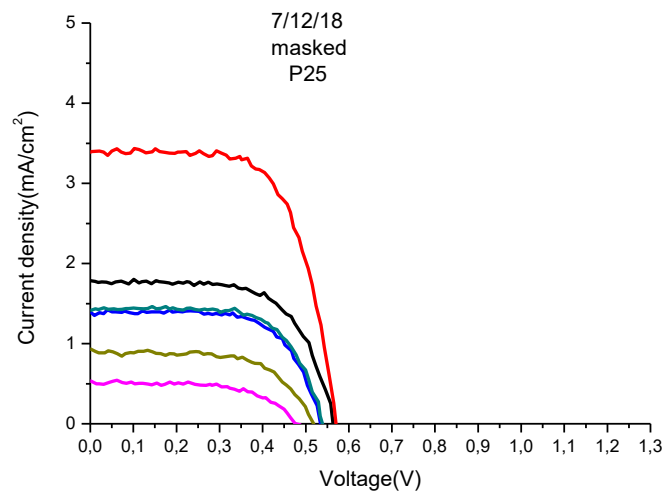


J-V Χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού στοιχείου τύπου DSCs

Toluene AcOH

- Μαύρη -Κόκκινη γραφική 0 μL
- Μπλε γραφική 5 μL acOH
- Πράσινη γραφική 10 μL
- Ροζ γραφική 20 μL

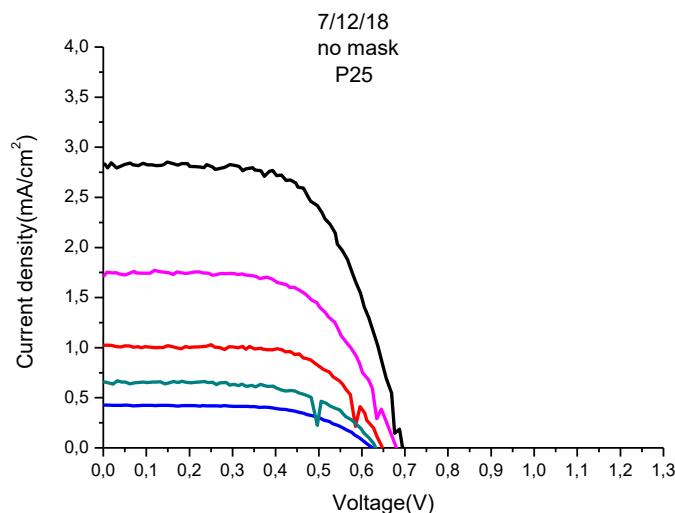
Παρατηρήσεις: Τα δείγματα χωρίς μάσκα παρουσιάζουν κάποιες γραφικές που δεν τις περιμέναμε να έχουν τέτοια αποτελέσματα (κόκκινη και μαύρη) , οι τιμές τους μειώνονται πολύ απότομα , εδώ μπορεί να ευθύνονται αρκετοί παράγοντες ακόμη και αστοχία των δειγμάτων ή ακόμη και η νέα παράμετρος που αλλάξαμε σε αυτά τα πειράματα όπου είναι ο διαλύτης (τολουόλιο)



J-V Χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού στοιχείου τύπου DSCs

- Μαύρη γραφική 5 μL οξικό οξύ
- Κόκκινη γραφική 0 μL οξικό οξύ
- Μπλε γραφική 10 μL οξικό
- Πράσινη γραφική 10 μL οξικό
- Ροζ γραφική 15 μL οξικό
- Λαδί 20 μL οξικό
- THF

Παρατηρήσεις και σχόλια: Σε αυτά τα πειράματα χρησιμοποιήσαμε για διαλύτη THF και όχι τολουόλιο όπως στα πειράματα στις 14/12/18 και παρατηρούμε καλύτερα αποτελέσματα , το οξύ που χρησιμοποιήσαμε είναι πάλι το οξικό.



J-V Χαρακτηριστική φωτοβολταϊκού στοιχείου τύπου DSCs

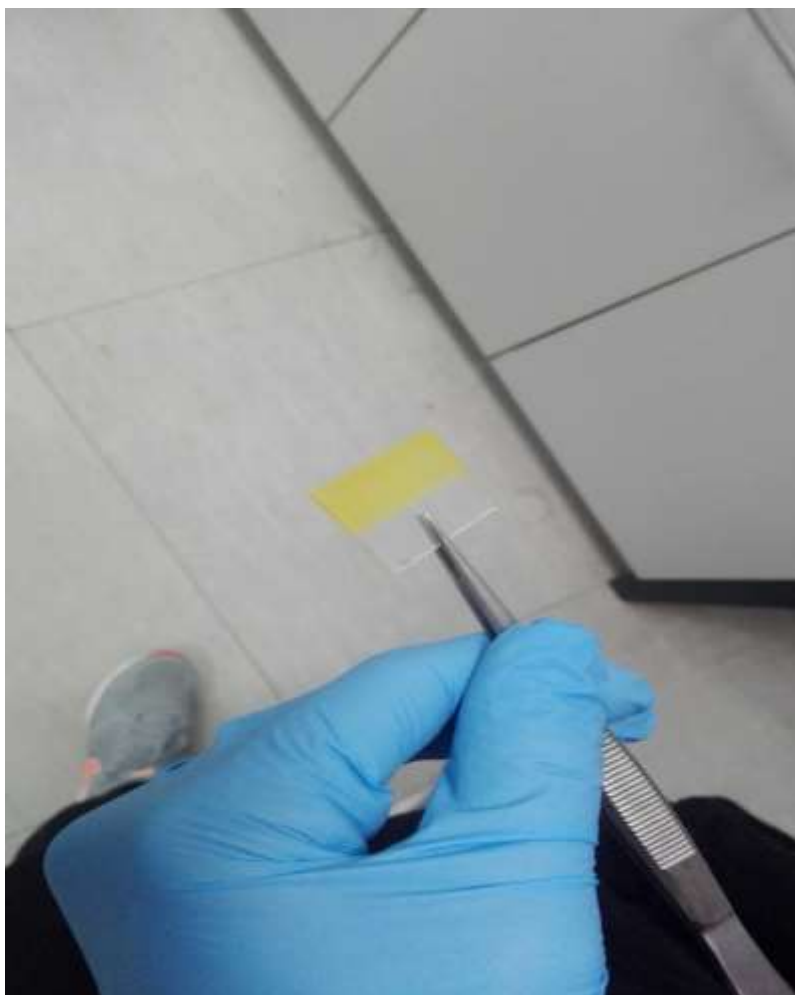
- Μαύρη γραφική 0 μL οξικό
- Κόκκινη γραφική 10 μL οξικό
- Μπλε γραφική 15 μL οξικό
- Πράσινη γραφική 20 μL οξικό
- Ροζ γραφική 5 μL οξικό
- THF

Παρατηρήσεις και σχόλια: Τα δείγματα εδώ μετρήθηκαν χωρίς μάσκα για ίδιο διαλύτη και οξύ.

4.2 Πειραματική διαδικασία για τα ηλεκτροχρωμικά

Ξεκινάμε τη διαδικασία με ένα κομμάτι γυαλί διάστασης 2x2 και με την βοήθεια πολυμέτρου βρίσκουμε την αγώγιμη πλευρά(FTO) έχοντας ρυθμίσει το όργανο στην μέτρηση ωμικής αντίστασης. Χωρίζουμε σε δύο μέρη το γυαλί ,την ενεργή επιφάνεια και το ηλεκτρόδιο. Η ενεργή επιφάνεια είναι αποτελεί η αγώγιμη πλευρά (FTO) που μετρήσαμε, εκεί θα προσθέσουμε τον ημιαγωγό. Η άλλη μεριά είναι το ηλεκτρόδιο όπου μένει καθαρή από υλικά καθώς επάνω τοποθετούμε κολλητική ταινία όπου μετά τη διαδικασία του ψησίματος του γυαλιού αφαιρείται. Χρησιμοποιήσαμε το

βολφράμιο ως ημιαγωγό με σχηματισμό WO_3 και το νικέλιο ως αντιηλεκτρόδιο με σχηματισμό οξειδίου του νικελίου.

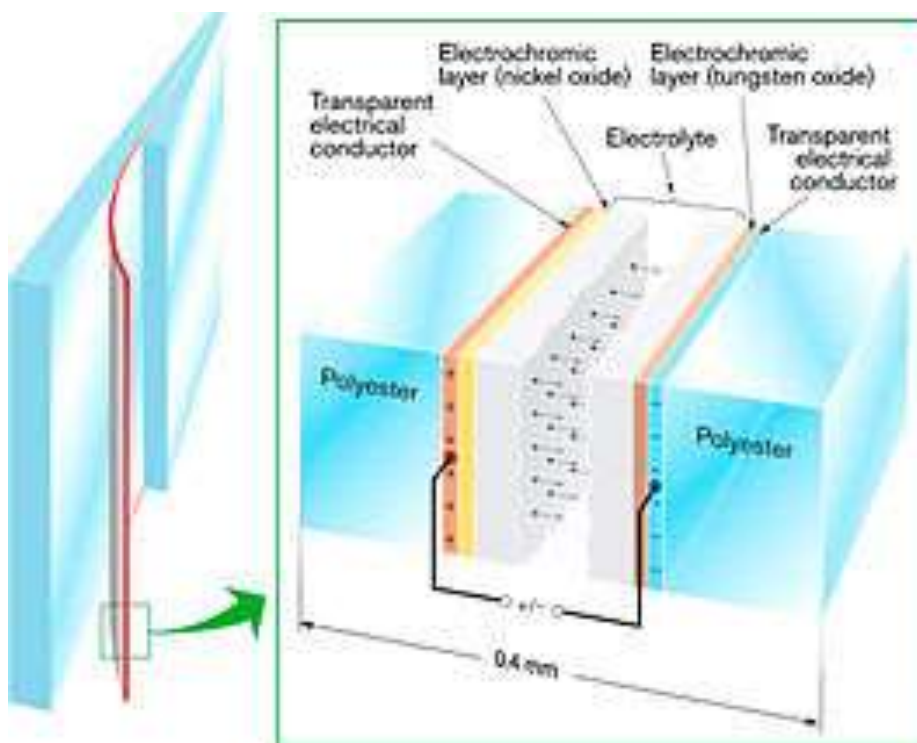


Εικ:4.13 : Διαχωρισμός αγώγιμης πλευράς(FTO) και ηλεκτροδίου στο γυαλί

Συνταγή για τον σχηματισμό του WO_3 : Διαλύουμε 2 γραμμάρια μετάλλου W(βολφραμίου) σε 14ml υπεροδείξιο του υδρογόνου H_2O_2 . Μετά προσθέτουμε 5 ml αιθανόλη και 0,3 γραμμάρια από τασιενεργό μόριο Triton X-100.

Συνταγή για το αντιηλεκτρόδιο με σχηματισμό οξειδίου του νικελίου: 0,5 γραμμάρια Nickel acetate με 1 γραμμάριο βουτοξείδιο του τιτανίου μέσα σε 6 ml αιθανόλης και 0,5 γραμμάρια Triton X-100.

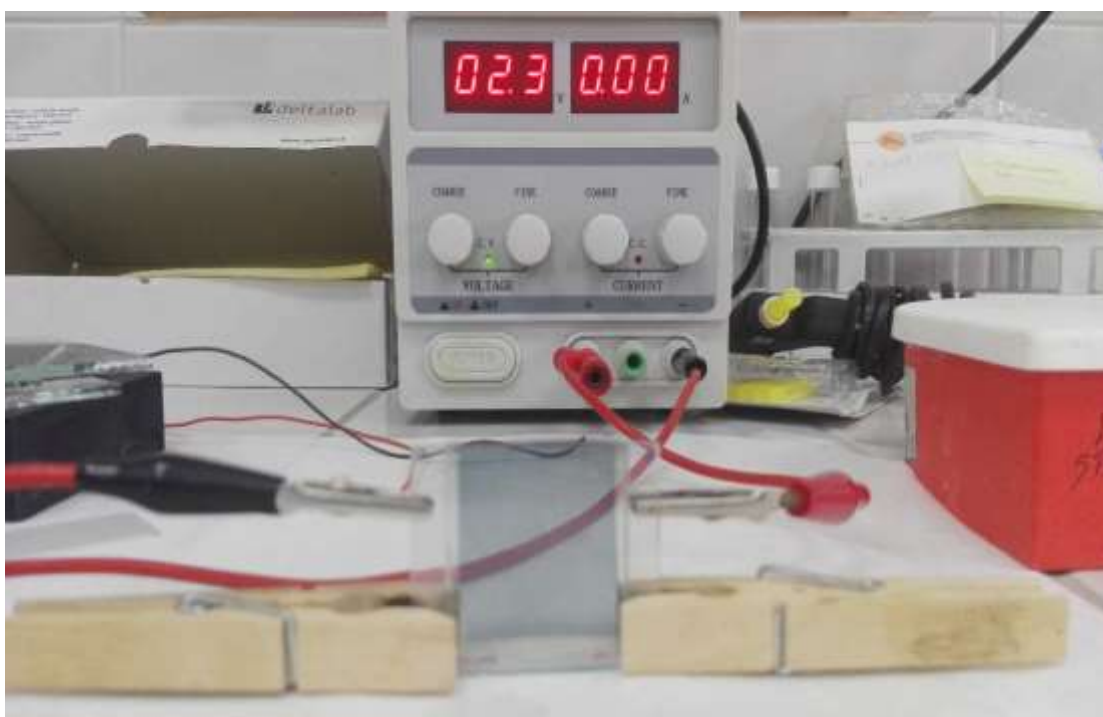
Αυτά μετά τα επιστρώνουμε με προσοχή πάνω στο αγώγιμο γυαλί FTO με τη βοήθεια μίας πιπέτας να απλωθεί σε όλη την ενεργή επιφάνεια, μετά βάζουμε στο ανάλογο πρόγραμμα τον spin coating ώστε να πραγματοποιηθούν οι διαδοχικές εναποθέσεις φυγοκεντρικά. Ο ηλεκτρολύτης ανάμεσα στα δύο γυαλιά είναι 0,1 M LiClO₄ σε διαλύτη propylene carbonate. Στη συγκεκριμένη περίπτωση το spinning έγινε στο Program 2. Κάθε φορά που πραγματοποιούμε κάποια στρώση θα πρέπει να βάζουμε τα δείγματα μας στην φούρνο αφού πρώτα καθαρίσουμε κάθε μεριά του γυαλιού εκτός από την ενεργή με ακετόνη ώστε να αποφύγουμε να έχουμε στάμπες από το υλικό μας στην μεριά όπου θα προσπίπτει η ηλιακή ακτινοβολία, αποφεύγοντας έτσι πιθανόν μείωση απόδοσης του στοιχείου. Εφόσον καθαρίσουμε το δείγμα μας, το τοποθετούμε με προσοχή στον φούρνο πάνω σε σχάρες στου 400- 500⁰C για 10 λεπτά. Οι στρώσεις του υλικού πάνω στο γυαλί είναι συνολικά έξι. Το ψήσιμο του γυαλιού έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη κρυσταλλοποίηση του ημιαγωγού , καθώς εξατμίζεται κάθε υγρασία που μπορεί να υπάρχει.



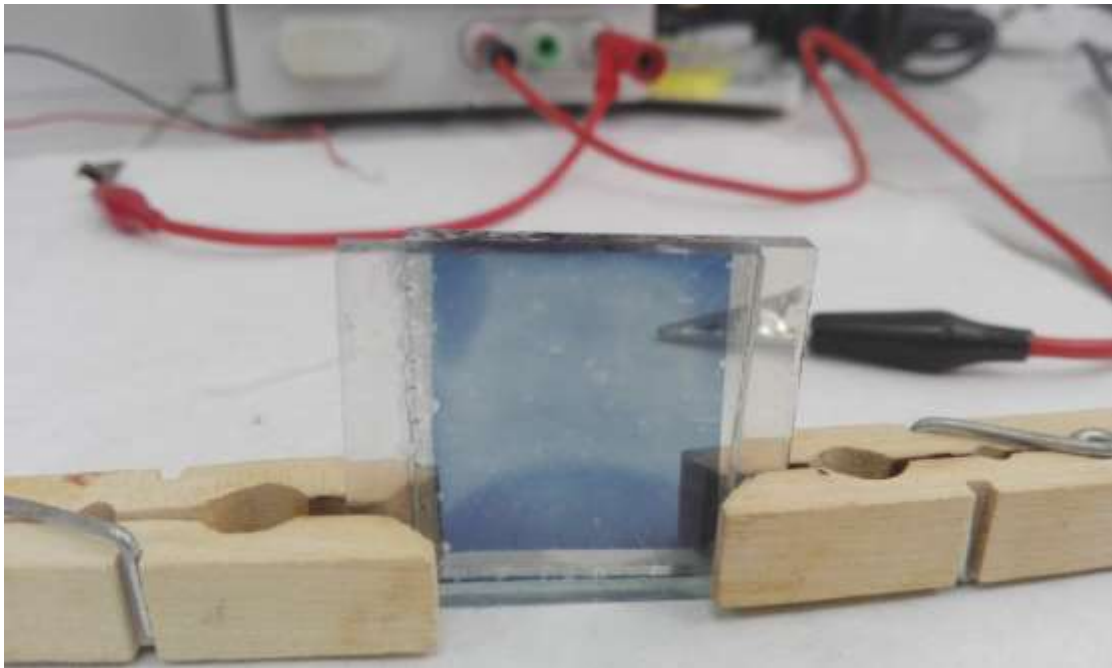
Εικ 4.14 Περιγραφή ενός ηλεκτροχρωμικού γυαλιού

Χρωματισμός ηλεκτροχρωμικού γυαλιού με τη βοήθεια πολυμέτρου:

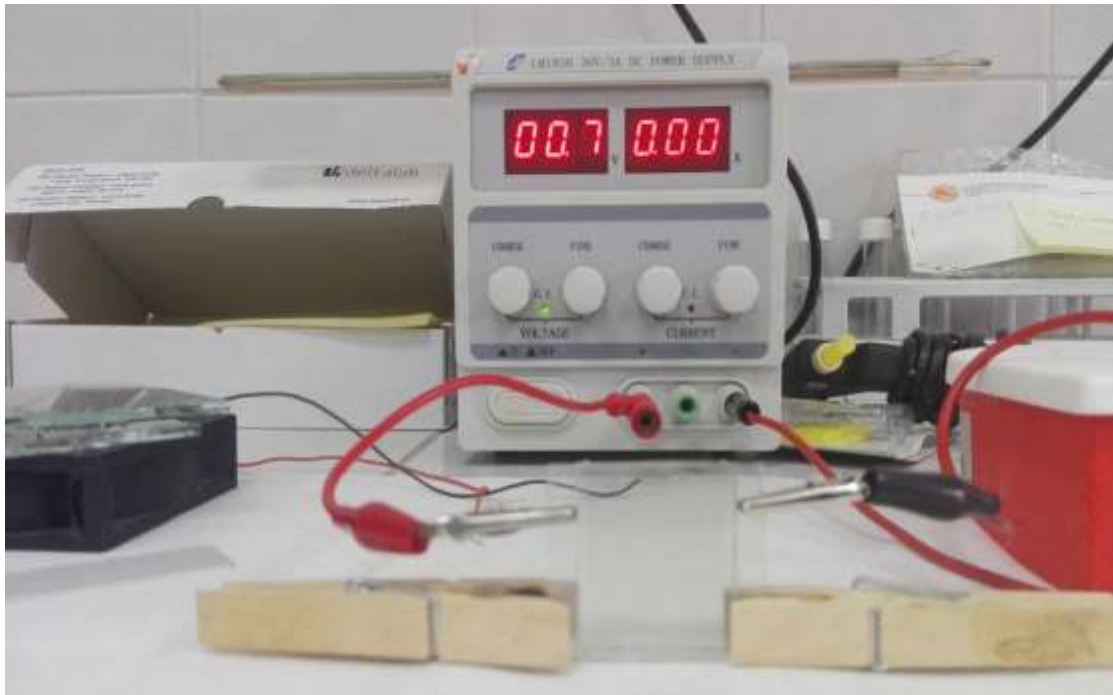
Στις διατάξεις αυτές χρησιμοποιούνται διάφορα οξείδια των μετάλλων όπου στη περίπτωση αυτή χρησιμοποιήσαμε WO_3 σαν ηλεκτροχρωμική στρώση, και έχουν την δυνατότητα να αλλάζουν χρώμα με την εισαγωγή και εξαγωγή ιόντων (Li^+) ανάλογα με την μορφολογία τους. Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ενός μικρού ηλεκτρικού ρεύματος σε χαμηλή τάση DC περίπου 2,2 volt, το οποίο ωθεί τα ιόντα να μετακινηθούν εντός της δομής του ηλεκτροχρωμικού υλικού και να μεταβληθεί το χρώμα του από την ηλεκτροχημική διαδικασία της αναγωγής. Η κατάσταση αυτή του χρωματισμού παραμένει στην διάταξη έως ότου εφαρμοσθεί μια ανάστροφη τάση περίπου 0,6volt η οποία θα προκαλέσει την αποβολή των ιόντων και την επάνοδο του χρωματισμού του με την ηλεκτροχημική διαδικασία της οξείδωσης. Ακολουθούν εικόνες για τον χρωματισμό και τον αποχρωματισμό του γυαλιού αντίστοιχα:



Εικ 4.15 Το ηλεκτροχρωμικό αυτό γυαλί έχει συνδεθεί με το τροφοδοτικό και όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε έχουμε ρυθμίσει το τροφοδοτικό στα 2.3 V για τον χρωματισμό του ηλεκτροχρωμικού στοιχείου.



Εικ 4.16 Μια κοντινή φωτογραφία από ένα ηλεκτροχρωμικό στοιχείο που έχει ήδη χρωματιστεί με την διαδικασία που αναφέρθηκε παραπάνω.



Εικ 4.17 Έχοντας ρυθμίσει το τροφοδοτικό στα 0.7V βλέπουμε πως το ηλεκτροχρωμικό στοιχείο έχει χάσει το χρώμα του και έχει γίνει διάφανο (διαδικασία αποχρωματισμού ηλεκτροχρωμικού γυαλιού).

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]<file:///C:/Users/Dell/Downloads/Oi%20dieuneis%20diaskeceis%20gia%20to%20periballon.pdf>
- [2]http://www.wwf.gr/images/pdfs/Fossil_Fuel_Subsidies_in_Greece_Final.pdf
- [3]http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Electricity/Selenium_Cell/Selenium_Cell.html
- [4]<https://www.omniphos.gr/%CE%B7-%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B1-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CF%8E%CE%BD/>
- [5]https://en.wikipedia.org/wiki/Charles_Fritts
- [6]<https://www.britannica.com/technology/selenium-cell>

- [7]<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%B9%CE%BC%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1>
- [8]https://en.wikipedia.org/wiki/Jan_Czocharlski/
- [9]<https://www.solarpowerauthority.com/a-history-of-solar-cells/>
- [10]<https://www.bell-labs.com/timeline/#/1950/1/open/>
- [11]https://en.wikipedia.org/wiki/Vanguard_1
- [12]<https://www.coursehero.com/file/p3b73ue/1963-Sharp-Corporation-succeeds-in-producing-practical-silicon-PV-modules-Japan/>
- [13]https://en.wikipedia.org/wiki/Growth_of_photovoltaics_24/2/19
- [14]<http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/10445/1/%CE%9C%CE%95%CE%A4%CE%91%CE%A0%CE%A4%CE%A5%CE%A7%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%97%20%CE%95%CE%A1%CE%93%CE%91%CE%A3%CE%99%CE%91%20%CE%94%CE%97%CE%9C%CE%97%CE%A4%CE%A1%CE%91%CE%A3%20%CE%9A%CE%91%CE%9C%CE%A0%CE%99%CE%A4%CE%97.pdf>
- [15]<https://energyglass.gruppostg.com/it/fotovoltaico-architettomicamente-integrato/bipv-vs-bapv.html>
- [16] <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-B106/85/685,2581/1,5>
- [17]http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php#bookmark3
- [18]<https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>
- [19]<https://www.eco2day.gr/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-%CF%80%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%BB/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%BF%CE%B9%CF%87%CE%B5%CE%B9%CE%B1-%CE%BB%CE%B5%CF%80%CF%84%CE%BF%CF%85-%CF%85%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%B9%CE%BF/>
- [20]https://en.wikipedia.org/wiki/Amorphous_silicon
- [21]<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CE%B9%CE%BB%CE%AC%CE%BD%CE%B9%CE%BF>
- [22]<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%83%CF%86%CE%AF%CE%BD%CE%B7>
- [24]<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B2%CE%BF%CF%81%CE%AC%CE%BD%CE%B9%CE%BF>

[25] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CE%BD%CE%AF%CE%BD%CE%B7>

[26] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%B2%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE%CE%BC%CE%B7%CF%87%CE%B1%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE>

[27] <http://users.sch.gr/kassetas/angmoment4.htm>

[28] <https://www.noesis.edu.gr/%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B7-%CE%BA%CE%B1%CE%B9-%CF%84%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1/%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82/%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B1/%CE%BF-%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%BF%CF%82-%CF%84%CE%BF%CF%85-coulomb/>

[29] <http://pc164.materials.uoi.gr/dpapageo/courses/emo/2-band%20structure.pdf>

[30] <http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C135/474/3139,12607/>

[31] http://stabenextsol.eu/docs/Vilnius_13_Presentation_Stathatos.pdf 7/7/19

[32] <https://www.livescience.com/38169-electromagnetism.html>

[33] <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%89%CE%BB%CE%B9%CE%BF%CF%82>

[34] <http://www.physics4u.gr/articles/2002/blackbody.html>

[35] <https://physicsgg.me/2011/08/21/h-%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%B9%CE%BD%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CE%B9%CE%B1-%CE%BC%CE%B5%CE%BB%CE%B1%CE%BD%CE%BF%CF%83-%CF%83%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%83/>

[36] <https://www.ossila.com/products/fto-glass-unpatterned>

[37] <https://de.vwr.com/store/product/24511037/fluorine-doped-tin-oxide-fto-glass-coated-slides>

[38] <http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/document/file.php/ELEC103/I.%20CE%94%CE%B9%CE%B1%CF%86%CE%AC%CE%BD%CE%B5%CE%B9%CE%B5%CF%82%20%CE%9C%CE%B1%CE%B8%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82/II.%20%CE%A6%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC.pdf>

[39] https://ikee.lib.auth.gr/record/297850/files/ALVANOYEE_607.pdf

[40] file:///C:/Users/x/Downloads/Oi%20dieuneis%20diaskeceis%20gia%20to%20periballon.pdf

[41] https://www.4green.gr/news/data/fwtoboltaika/Fwtoboltaika-se-skiastra,-steges,-prospseis-swzoyn-xwro_117276.asp

[43] https://www.google.com/search?q=%CE%B5%CE%BD%CF%83%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7+%CF%86%CF%89%CF%8%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CF%89%CE%BD+%CF%83%CF%84%CE%B7+%CF%83%CF%84%CE%B5%CE%B3%CE%B7&rlz=1C1GCEA_enGR835GR835&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwinjvKvu63iAhUKLFAKHURUQB6IQ_AUIDigB&biw=1353&bih=640#imgrc=VxGgPdNEwNzltM:

[44] https://www.google.com/search?rlz=1C1GCEA_enGR835GR835&biw=1353&bih=640&tbm=isch&sa=1&ei=0l_kXPCrN8PFwQLtzrn4Dg&q=%CE%B5%CE%BD%CF%83%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7+%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CF%89%CE%BD+%CF%83%CE%B5+%CE%B5%CE%BD%CE%B1+%CE%BC%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%82+%CF%84%CE%B7%CF%82+%CF%83%CF%84%CE%B5%CE%B3%CE%B7&oq=%CE%B5%CE%BD%CF%83%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7+%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CF%89%CE%BD+%CF%83%CE%B5+%CE%B5%CE%BD%CE%B1+%CE%BC%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%82+%CF%84%CE%B7%CF%82+%CF%83%CF%84%CE%B5%CE%B3%CE%B7&gs_l=img.3...254975.259816..260211...0.0..0.1492.6362.0j4j1j7-4.....1....1..gws-wiz-img.W6PE1Qr55pY#imgrc=5SshomaNeJHblM:

[45] https://www.google.com/search?rlz=1C1GCEA_enGR835GR835&biw=1353&bih=640&tbm=isch&sa=1&ei=Y2HkXOT0EclFwAKp7a6oCg&q=%CE%B5%CE%BD%CF%83%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7+%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CF%89%CE%BD+%CF%83%CF%84%CE%B1+%CF%83%CE%BA%CE%B9%CE%B1%CF%83%CF%84%CF%81%CE%B1&oq=%CE%B5%CE%BD%CF%83%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7+%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BA%CF%89%CE%BD+%CF%83%CF%84%CE%B1+%CF%83%CE%BA%CE%B9%CE%B1%CF%83%CF%84%CF%81%CE%B1&gs_l=img.3...126108.128839..129123...0.0..0.223.1660.0j7j3.....1....1..gws-wiz-img.JgMx9XKHjP8#imgdii=9Ys4rCJzqRIHZM:&imgrc=8l2-oTDksUnMUM:

[46] <https://apothesis.lib.teicrete.gr/bitstream/handle/11713/7883/PsifisKonstantinos2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[47] Properties, Requirements and Possibilities of Smart Windows for Dynamic Daylight and Solar Energy Control in Buildings: State-of-the-Art
Ruben Baetens a,b, Bjørn Petter Jelle a,c,* and Arild Gustavsen d

[48] Electrochromic materials and devices for energyefficiency and human comfort in buildings: A critical review C.G. Granqvist a, *, M.A. Arvizu a, I. Bayrak Pehlivan a, H.-Y. Qu a, b, R.-T. Wen a, G.A. Niklasson a a Department of Engineering Sciences, The Ångström Laboratory, Uppsala University, PO Box 534, SE-75121 Uppsala, Sweden b MIIT Key Laboratory of Critical Materials Technology for New Energy Conversion and Storage, School of Chemistry and Chemical Engineering, Harbin Institute of Technology, 150001 Harbin, China
a r t i c l e i n f o

[49] <http://www.solar-systems.gr/solar-panel-pv-9.html>

[50] <http://digilib.teiemt.gr/jspui/bitstream/123456789/1401/1/012009132.pdf>

[51] www.cres.gr

(http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_photovol.htm)

[52] enforce-practical-guide-greek.pdf

[53] Φωτοβολταϊκά%20-%20Ένας%20πρακτικός%20οδηγός.pdf

[54]<http://ikee.lib.auth.gr/record/136454/files/%CE%91%CE%A5%CE%A4%CE%9F%CE%9D%CE%9F%CE%9C%CE%9F%20%CE%97%CE%9B%CE%99%CE%91%CE%9A%CE%9F%20%CE%A3%CE%A0%CE%99%CE%A4%CE%99.pdf>

[55] Δρ.Κ.Ε Σαββάκης 2010 Τεχνολογία Υλικών και Υλικά Τεχνολογικών Εφαρμογών Αθήνα, Ίων

[56] Ι.Ε Φριαγκιαδάκης 2009 Φωτοβολταϊκά Συστήματα Θεσσαλονίκη, Ζήτη

[57] Tetsuo Soga 2006 Nanostructured materials for solar energy conversion 1st editio

[58] Αποστολοπούλου Αντιγόνη 2018 Πάτρα Σύνθεση και χαρακτηρισμός νανοσύνθετων ημιαγωγών και ηλεκτρολυτών για εφαρμογές σε ηλιακά στοιχεία.

[59] Anders Hagfeldt ,Gerrit Boschloo,Licheng Sun, Lars Kloo, and Henrik Pettersson 2010 Dye-Sensitized Solar Cells

[60]Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie2005 Planning & installing photovoltaic systems a guide for installers,architects and engineers