



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ



ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΗΛΙΑΚΕΣ ΚΥΨΕΛΕΣ ΚΑΙ ΝΕΕΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία
ΕΥΘΥΜΙΟΣ Θ. ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δ.Ε ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ

Αθήνα, 2012

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κ. Δ. Μανωλάκο για την ανάθεση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας. Επίσης, τον υποψήφιο διδάκτορα κ. Γ. Κούζιλο για τον συντονισμό, την ενθάρρυνση, την συνεχή υποστήριξη και καθοδήγηση κατά τη διάρκεια υλοποίησης της εργασίας.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Abstract	6
Πρόλογος	7
Εισαγωγή	10
1. Ιστορία των ηλιακών κελιών	11
1.1 Το πρώτο ηλιακό κελί στερεού υλικού.....	11
1.2 Η ανακάλυψη των ηλιακών κελιών πυριτίου.....	13
1.3 Η πρώτη πρακτική εφαρμογή του ηλιακού κελιού πυριτίου.....	15
1.4 Χερσαίες εφαρμογές.....	18
1.5 Το μέλλον των φωτοβολταϊκών.....	32
2. Αρχή λειτουργίας φωτοβολταϊκών συστημάτων-θεωρία ημιαγωγών	35
2.1. Το άτομο.....	35
2.2 Σχηματισμός ρεύματος στα υλικά.....	37
2.3. Αγωγοί -μονωτές- ημιαγωγοί.....	38
2.4 Δομή των ημιαγωγών.....	39
2.5 Ενεργειακές ζώνες στους ημιαγωγούς.....	40
2.6 Σχηματισμός της οπής.....	42
2.7 Ημιαγωγοί τύπου N και P.....	43
2.8 Επαφή PN.....	45
2.9 Ρεύμα διάχυσης και ανάστροφο ρεύμα.....	47
2.10 Υπολογισμός του μήκους κύματος της ακτινοβολίας που προκαλεί το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο.....	49
2.11 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο.....	50
2.12 Η ηλιακή κυψέλη.....	52
3. Υπάρχουσα φωτοβολταϊκή τεχνολογία	54
3.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου (Si).....	54
3.2 Τεχνολογία κρυσταλλικού πυριτίου.....	55
3.3 Η τεχνολογία λεπτού φιλμ.....	57
3.4 Είδη ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή φωτοβολταϊκών	59
3.4.1. Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο.....	61

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

3.4.2. Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο.....	62
3.4.3. Ταινία πυριτίου.....	63
3.4.4. Άμορφο πυρίτιο.....	63
3.4.5. Θειούχο κάδμιο.....	64
3.4.6. Αρσενιούχο γάλλιο.....	65
3.4.7. Τελουριούχο κάδμιο.....	65
3.5. Απόδοση ημιαγωγών.....	66
4. Οργανικά φωτοβολταϊκά.....	68
4.1. Οργανικοί ημιαγωγοί.....	70
4.2. Οργανικές φωτοβολταϊκές διατάξεις OPVs.....	75
4.2.1. Τυπική δομή OPVs.....	76
4.2.2. Αρχή λειτουργίας των OPVs.....	78
4.2.3 Εφαρμογές OPVs.....	81
4.2.4. Πλεονεκτήματα των OPVs.....	83
4.2.5. Μειονεκτήματα των OPVs.....	85
4.3. Κόστος οργανικών φωτοβολταϊκών.....	86
5. Ευαισθητοποιημένες ηλιακές κυψελίδες.....	87
5.1. Δομή και μηχανισμός λειτουργίας μιας ευαισθητοποιημένης ηλιακής κυψελίδας.....	88
5.2. Σύντομη ιστορική ανασκόπηση.....	93
5.3. Δομή και σύνθεση ευαισθητοποιημένων ηλιακών κυψελίδων.....	98
5.3.1. Υποστρώματα.....	98
5.3.1.1. Ιδιότητες υποστρωμάτων.....	98
5.3.1.2. Άκαμπτα υποστρώματα.....	99
5.3.1.3. Εύκαμπτα υποστρώματα.....	100
6. Υβριδικά φωτοβολταϊκά-θερμοφωτοβολταϊκά (PV/T).....	106
6.1. Εισαγωγή στα PV/T.....	106
6.2. Είδη PV/T.....	107
6.2.1 PV/T συστήματα αέρα.....	107
6.2.2. PV/T συστήματα υγρού.....	108
6.2.2.1. Είδη υβριδικών PV/T συλλεκτών υγρού.....	109
6.3. Παράμετροι απόδοσης.....	111

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

6.4 Τεχνολογία αιχμής.....	111
6.5 Φωτοβολταϊκοί σταθμοί.....	112
6.6 Οικιακός-κτιριακός τομέας.....	113
6.7 Κόστος.....	114
Βιβλιογραφία.....	116

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζονται οι οργανικές ηλιακές κυψελίδες και οι νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών. Αρχικά, γίνεται μια ιστορική ανασκόπηση των φωτοβολταϊκών, από την στιγμή ανακάλυψης της πρώτης ηλιακής κυψελίδας μέχρι σήμερα. Στο δεύτερο και τρίτο κεφάλαιο εξετάζονται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η υπάρχουσα φωτοβολταϊκή τεχνολογία αντίστοιχα. Εν συνεχεία, γίνεται εκτεταμένη αναφορά στα οργανικά φωτοβολταϊκά. Αναφέρονται οι τεχνικές παραγωγής τους, ο τρόπος λειτουργίας τους, μειονεκτήματα - πλεονεκτήματα και το κόστος τους. Στο πέμπτο κεφάλαιο μελετώνται οι ευαισθητοποιημένες ηλιακές κυψελίδες, παρατηρείται ο μηχανισμός λειτουργίας των κυψελίδων αυτών, η δομή και η σύνθεσή τους. Επίσης εξετάζονται τα εύκαμπτα και άκαμπτα υποστρώματα που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του ηλεκτροδίου και του αντιηλεκτροδίου αυτών. Το τελευταίο κεφάλαιο αναφέρεται στα υβριδικά φωτοβολταϊκά – θερμοφωτοβολταϊκά (PV/T) όπου μελετώνται τα είδη των PV/T, οι παράμετροι απόδοσής τους, εφαρμογές και χρησιμότητές τους.

ABSTRACT

In the present diploma , the organic solar cells and the new photovoltaic technology are closely examined. Initially, a historical overview of photovoltaics, from the moment of the first solar cell's invention until today is presented. Through the second and the third chapter the photovoltaic phenomenon and the existing photovoltaic technology respectively are being discussed. Subsequently, there is an extensive reference to organic photovoltaics where their techniques of production, operating methods, advantages – disadvantages and cost are mentioned. In the fifth chapter the dye sensitized solar cells are being studied, while the operating mechanism of these cells, their structure and composition are being observed. In addition, the flexible and rigid substrates used in the manufacture of the electrode and anti-electrode of them are presented in detail. Finally, the last chapter deals with hybrid photovoltaics- thermophotovoltaics (PV/T), illustrating the types of PV/T, their performance parameters, application and utilities

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Τα φωτοβολταϊκά υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή ηλιακών κελιών και ανιχνευτών φωτός. Ανόργανες φωτοβολταϊκές συσκευές παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά στα εργαστήρια Bell πριν πενήντα και πάνω χρόνια. Η αρχική τους εφαρμογή ήταν στους δορυφόρους γύρω από τη Γη. Ένα ευρύτερο φάσμα εφαρμογών γρήγορα αναδύθηκε. Επειδή η ηλιακή ενέργεια είναι ίσως η πιο προφανής ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών της τεχνολογίας των ηλιακών κελιών για την παραγωγή ενέργειας είναι και πρέπει να είναι υψηλής προτεραιότητας για το μέλλον του πολιτισμού μας. Μια προτεραιότητα που καθίσταται ολοένα και πιο σημαντική, καθώς οι τιμές του πετρελαίου συνεχίζουν να αυξάνονται και η καύση ορυκτών καυσίμων εξακολουθεί να υποβαθμίζει το περιβάλλον του πλανήτη. Η τεχνολογία των ηλιακών κελιών, ωστόσο, έχει δύο πολύ σοβαρά μειονεκτήματα. Το κόστος παραγωγής είναι σχετικά υψηλό και ο ρυθμός με τον οποίο μπορούν να παραχθούν νέα ηλιακά κελιά, είναι περιορισμένος από τη βασική υψηλή-θερμοκρασία επεξεργασίας του πυριτίου.

Ημιαγώγιμα πολυμερή (και οργανικά πολυμερή, πιο γενικά) παρέχουν μια εναλλακτική οδό στην τεχνολογία των ηλιακών κελιών. Από τη στιγμή που αυτά τα πλαστικά υλικά μπορούν να επεξεργαστούν διαλυμένα και αποτυπωμένα πάνω σε πλαστικά υποστρώματα, προσφέρουν την υπόσχεση να είναι ελαφρά, ευέλικτα και χαμηλού κόστους. Επιπλέον, η τεχνολογία εκτύπωσης μεμβρανών είναι ικανή για την παραγωγή τεράστιας ποσότητας μεμβράνης σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Παρόλο που η συνολική απόδοση μετατροπής ενέργειας των σημερινών οργανικών ηλιακών κελιών είναι σχετικά χαμηλή, σε σχέση με αυτήν της τεχνολογίας πυριτίου, η απόδοση μπορεί να βελτιωθεί μέσω της συστηματικής μοριακής μηχανικής και την ανάπτυξη της συσκευής που ιδανικά ταιριάζει με τις ιδιότητες αυτών των καινούριων φωτοβολταϊκών υλικών.

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Το πρώτο πραγματικά ανόργανο ηλιακό κελί είχε τις ρίζες του σε μια διεργασία δύο φάσεων, η οποία τώρα ονομάζεται φωτοηλεκτροχημεία. Το 1839 ο Becquerel παρατήρησε ότι προέκυψε ένα φωτοβολταϊκό, από τη δράση του φωτός σ' ένα ηλεκτρόδιο μέσα σε ένα ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Στη δεκαετία του 1870 ανακαλύφθηκε ότι το στερεό υλικό σελήνιο επιδείκνυε το ίδιο αποτέλεσμα, και μέχρι τις αρχές του 1900 ηλιακά κελιά σεληνίου χρησιμοποιούνταν ευρέως σε φωτογραφικές εκθέσεις μετρητών. Μέχρι το 1914 αυτά τα κελιά είχαν λιγότερο από 1% αποτελεσματικότητα. Το 1954, ο Charin ανέφερε μια ηλιακή μετατροπή απόδοσης του 6% για ένα ενιαίου κρυστάλλου κελί πυριτίου, σημαίνοντας την αρχή των σύγχρονων φωτοβολταϊκών. Μέχρι το 1958, μικρού εμβαδού ηλιακά κελιά πυριτίου είχαν φτάσει μια απόδοση του 14%, υπό την επίδραση του ηλιακού φωτός στην επιφάνεια της Γης.

Στις 17 Μαρτίου, 1958, εκτοξεύτηκε ο πρώτος δορυφόρος που λειτουργούσε με ηλιακή ενέργεια, ο Vanguard 1. Κουβαλούσε δύο ξεχωριστούς ραδιοπομπούς. Ο πρώτος πομπός που τροφοδοτούταν με μπαταρία λειτούργησε για 20 μέρες, ενώ ο πομπός που τροφοδοτούταν με ηλιακό κελί λειτούργησε μέχρι το 1964, όταν όπως πιστεύεται, το κύκλωμα του πομπού χάλασε. Θέτοντας ένα ρεκόρ για τη μακροβιότητα δορυφόρου εκείνη τη στιγμή, ο Vanguard 1 απόδειξε την αξία της ενέργειας του διαστημικού ηλιακού κελιού. Τα σημερινά πρώτης τάξεως διαστημικά ηλιακά κελιά βασίζονται σε μια πολυένωση GaAs και συναφών υλικών και έχουν απόδοση άνω του 30%. Αλλά τα κελιά αυτά είναι ακριβά και σχετικά εύθραυστα. Η επίγεια παραγωγή ενέργειας κυριαρχείται από φωτοβολταϊκά που βασίζονται στο πυρίτιο και εμφανίζονται σε τρεις μορφές. Μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά, και λεπτής ταινίας. Παρόλο που αυτά τα φωτοβολταϊκά είναι πολύ φθηνότερα από το GaAs, μετατρέποντας ουσιαστικά άμμο σε καθαρό πυρίτιο, είναι πολύ ενεργοβόρα. Παρά τις αδυναμίες των ανόργανων ηλιακών κελιών, η παγκόσμια ετήσια παραγωγή των ηλιακών κελιών τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια έχει δεκαπλασιαστεί, φτάνοντας τα 600 MWp το έτος.

Τα οργανικά ηλιακά κελιά έχουν παραχθεί πολύ πρόσφατα. Το πρώτο οργανικό ηλιακό κελί περιγράφηκε από τον Tang το 1986. Έπειτα από δύο περίπου δεκαετίες ερευνών, προσεγγίζουν την απόδοση ρεκόρ του 3%. Ωστόσο, η τεχνολογία

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

των ηλιακών κελιών δεν χωράει τέλεια με ένα οργανικό ή ανόργανο παράδειγμα. Μία υβριδική συσκευή που χρησιμοποιεί ευαίσθητα στη βαφή, ναοκρυσταλλικά, ανόργανα υλικά, με βάση μια φωτοηλεκτροχημική επεξεργασία, αναπτύχθηκε πρώτα από τον Gratzel το 1991. Αυτά τα κελιά έχουν πετύχει αποδόσεις που ξεπερνάνε το όριο του 10 %. Παρόλα αυτά, η κύρια μάζα σε αυτά τα συστήματα αποτελείται από ανόργανα υλικά. Και φυσικά, η έρευνα είναι αρκετά δυναμική στον τομέα των ενισχυμένων με νανοσωματίδια ηλιακών κελιών.

Είναι σημαντικό να θυμόμαστε το γεγονός ότι τα ηλιακά κελιά έχουν γίνει για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Κάθε εφαρμογή ηλιακής ενέργειας αντιμετωπίζει τις δικές της μοναδικές προκλήσεις. Αυτές οι προκλήσεις μπορούν να αντιμετωπιστούν από μια ποικιλία τεχνολογιών, που υπερνικούν τα ειδικά θέματα που αφορούν το διαθέσιμο χώρο, την αποδοτικότητα, την αξιοπιστία, και την παραγωγή ενέργειας με βέλτιστο κόστος. Η συγκεκριμένη εφαρμογή μπορεί να είναι στην αεροδιαστημική, στην άμυνα, στο ηλεκτρικό δίκτυο, εκτός δικτύου, αναψυχής ή βιομηχανικές ρυθμίσεις.

Τα οργανικά φωτοβολταϊκά πιθανότατα θα δώσουν λύσεις σε εφαρμογές όπου η τιμή ή οι προκλήσεις των αχανών εκτάσεων, ή και τα δυο, κυριαρχούν, τόσο σε καταναλωτικά όσο και σε προϊόντα αναψυχής. Τα ανόργανα υλικά θα παίξουν κυρίαρχο ρόλο στην αεροδιαστημική και στις αμυντικές εφαρμογές: δορυφόροι, μη χερσαίας επιφάνειας ενέργεια, και πλανητική εξερεύνηση. Ωστόσο, η αποδοτικότητα, η περιβαλλοντική σταθερότητα και η αξιοπιστία, μπορούν να αναδείξουν τα οργανικά φωτοβολταϊκά κατάλληλα και για εφαρμογές όπως, αυτόνομα ηλιακά χωριά και παραγωγή ενέργειας μεγάλης κλίμακας. Οι τεχνολογικές εξελίξεις βασισμένες στην εργασία που περιγράφεται σ' αυτή τη διπλωματική, θα φέρουν πιθανότατα επανάσταση, στον τρόπο με τον οποίο εκμεταλλευόμαστε την ενέργεια του Ήλιου για την παραγωγή ηλεκτρισμού στη Γη και πέρα από αυτή.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ενέργεια και περιβάλλον έχουν γίνει δύο από τα πιο κρίσιμα θέματα του κοινού ενδιαφέροντος στις μέρες μας. Ένα εκτιμώμενο 80 % ή περισσότερο του ενεργειακού εφοδιασμού στον σημερινό κόσμο , προέρχεται από την καύση ορυκτών καυσίμων όπως ο άνθρακας , φυσικό αέριο , ή πετρέλαιο . Ωστόσο , το διοξείδιο του άνθρακα και τα τοξικά αέρια που εκλύονται από την καύση των ορυκτών καυσίμων , συμβάλλουν σημαντικά στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος , όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη , όξινη βροχή , αιθαλομίχλη κλπ . Επιπλέον , τα κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων στη Γη δεν είναι απεριόριστα . Λόγω των αυξημένων ενεργειακών απαιτήσεων του « σήμερα » , σε συνδυασμό με το αυξημένο ενδιαφέρον για την περιβαλλοντολογική μόλυνση , εναλλακτικές, ανανεώσιμες, φιλικές στο περιβάλλον και βιώσιμες πηγές ενέργειας έχουν γίνει επιθυμητές.

Το φως του Ήλιου είναι μια απεριόριστη (ανανεώσιμη και επομένως βιώσιμη), καθαρή (μη ρυπογόνα), και άμεσα διαθέσιμη πηγή ενέργειας, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί ακόμα και σε απομακρυσμένες περιοχές, όπου η παραγωγή και διανομή ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούν πρόκληση. Σήμερα, κάθε κρίση στον ανεφοδιασμό του ακατέργαστου πετρελαίου ή περιβαλλοντική υποβάθμιση που προκύπτει από την καύση των ορυκτών καυσίμων, έχουν προκαλέσει τόσο τις κυβερνήσεις όσο και τους ανθρώπους να ενδιαφερθούν για την ηλιακή ενέργεια πιο σοβαρά. Η τεχνική της μετατροπής του ηλιακού φωτός απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια με τη χρήση των φωτοβολταϊκών (PV) υλικών, έχει ευρέως χρησιμοποιηθεί σε συστήματα παροχής ενέργειας διαστημοπλοίων, και όλο και περισσότερο επεκτείνεται σε χερσαίες εφαρμογές για την παροχή σε αυτόνομους πελάτες (φορητές συσκευές, σπίτια, αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς, κλπ) ηλεκτρικής ενέργειας. Σύμφωνα με το U.S. DOE EIA, NREL U.S PV Industry Technology Roadmap 1999 Workshop και Strategies Unlimited, τα φωτοβολταϊκά έχουν γίνει μια βιομηχανία του ενός δις δολαρίων ετησίως και αναμένεται να αυξηθούν με ρυθμό του 15 με 20 % το χρόνο κατά τις επόμενες δεκαετίες. Παρόλα αυτά, μια μεγάλη πρόκληση για ευρείας κλίμακας εφαρμογή των φωτοβολταϊκών προς το παρόν, είναι το υψηλό κόστος των ηλιακών κελιών που βασίζονται σε ανόργανα- ημιαγώγιμα υλικά.

1. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΚΕΛΙΩΝ

1.1 ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΗΛΙΑΚΟ ΚΕΛΙ ΣΤΕΡΕΟΥ ΥΛΙΚΟΥ.

Ο άμεσος πρόγονος των ηλιακών κελιών που χρησιμοποιούνται σήμερα προέρχεται από το τελευταίο μισό του 19^{ου} αιώνα με την κατασκευή του πρώτου ανοιχτού δικτύου επικοινωνίας του κόσμου μέσω υπεραντλαντικών τηλεγραφικών καλωδίων. Ενώ τα βύθισαν κάτω από τη θάλασσα για να καταστεί δυνατή η στιγμιαία επικοινωνία μεταξύ των ηπείρων, οι μηχανικοί πειραματίστηκαν με σελήνιο για την ανίχνευση λαθών στα καλώδια που είχαν βυθιστεί. Νεότεροι ερευνητές που εργάστηκαν με σελήνιο ανακάλυψαν ότι οι επιδόσεις του υλικού εξαρτώνται από την ποσότητα του ηλιακού φωτός που πέφτει σ' αυτό. Η επίδραση του ηλιακού φωτός στο σελήνιο προκάλεσε το ενδιαφέρον των επιστημόνων σε ολόκληρη την Ευρώπη, μεταξύ των οποίων ήταν ο William Gryll Adams και ο μαθητής του Richard Evans Day. Κατά τη διάρκεια ενός πειράματος τους με σελήνιο παρατήρησαν ότι το φως μπορούσε να προκαλέσει την παραγωγή ηλεκτρισμού από ένα στερεό υλικό, κάτι το οποίο ήταν εντελώς νέο.

Η επιστήμη όμως της εποχής, όχι ακόμη σίγουρη για την ύπαρξη του ατόμου, δεν μπορούσε να εξηγήσει γιατί το σελήνιο παρήγαγε ηλεκτρισμό όταν εκτείθετο στο φως. Ως εκ' τούτου οι περισσότεροι επιστήμονες χλεύαζαν την εργασία των Adams και Day. Χρειάστηκε η ανακάλυψη και η αποδοχή των ηλεκτρονίων και του ότι το φως περιέχει πακέτα ενέργειας που ονομάζονται φωτόνια στον τομέα των φωτοβολταϊκών για να αποκτήσουν αξιοπιστία στην επιστημονική κοινότητα. Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1920 οι επιστήμονες θεωρούσαν ότι όταν το φως πέφτει πάνω σε υλικά όπως το σελήνιο τα πιο ισχυρά φωτόνια περικλείουν αρκετή ενέργεια για να συγκρουστούν και να βγάλουν από τις τροχιές τους ηλεκτρόνια που δε συγκρατούνται με τόσο ισχυρούς δεσμούς. Όταν καλώδια "επισυνάπτονται", τα ελεύθερα ηλεκτρόνια ρέουν δια μέσου αυτών ως ηλεκτρική ενέργεια. Πολλοί ερευνητές οραματίστηκαν την ημέρα που τράπεζες από ηλιακά κελιά σεληνίου θα

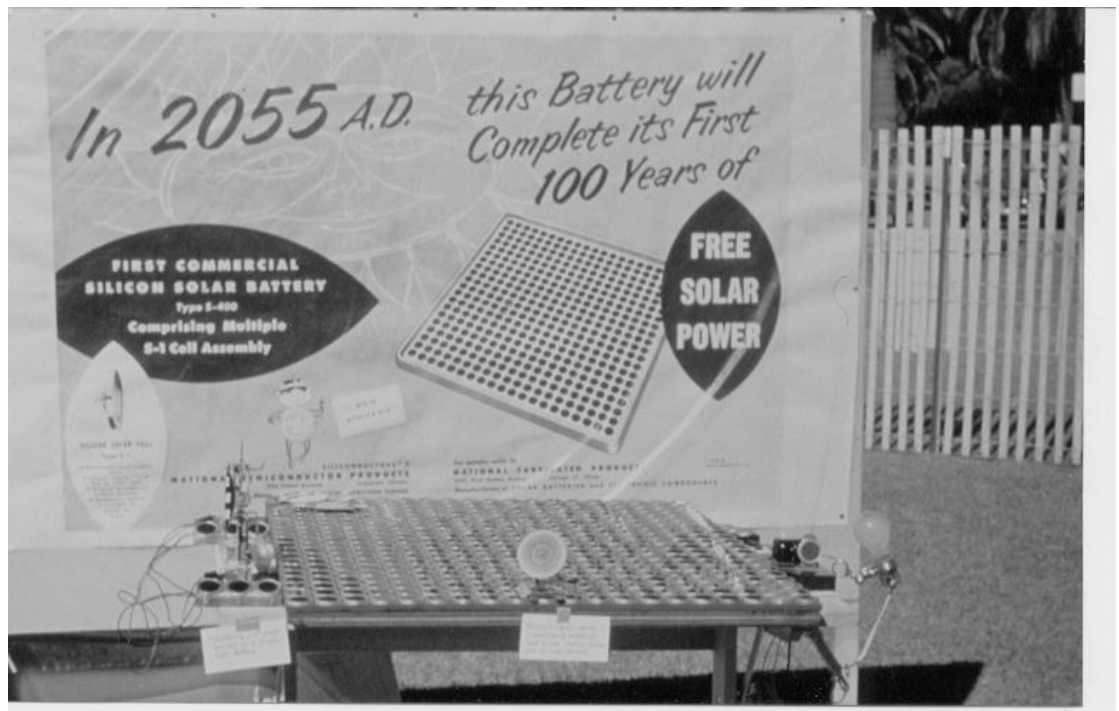
Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

έδιναν ενέργεια σε εργοστάσια και φως στα σπίτια. Ωστόσο κανείς δεν μπορεί να χτίσει ηλιακά κελιά σεληνίου αρκετά αποτελεσματικά ώστε να μετατρέψει πάνω από μισό τοις εκατό της ενέργειας του ηλίου σε ηλεκτρική ενέργεια, η οποία μετά βίας επαρκεί για να δικαιολογήσει τη χρήση τους ως πηγή ενέργειας.

1.2 Η ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΤΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΚΕΛΙΩΝ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Μία τυχαία ανακάλυψη από επιστήμονες στα εργαστήρια Bell έφερε επανάσταση στην τεχνολογία των ηλιακών κελιών. Οι Gerald Pearson και Calvin Fuller οδήγησαν την πρωτοπόρο προσπάθεια της χρησιμοποίησης του τρανζίστορ πυριτίου, τώρα το κύριο ηλεκτρονικό εξάρτημα που χρησιμοποιείται σε όλο τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό, από τη θεωρία στην πράξη. Ο Fuller είχε επινοήσει έναν τρόπο ελέγχου της εισαγωγής των ακαθαρσιών απαραίτητο για τη μετατροπή του πυριτίου από κακό σε ανώτερο αγωγό του ηλεκτρισμού. Έδωσε στον Pearson ένα κομμάτι του εκ προθέσεως μολυσμένου πυριτίου. Ανάμεσα στα πειράματα που έκανε με το ειδικά επεξεργασμένο πυρίτιο, συμπεριλαμβανόταν η έκθεση του στον ήλιο καθώς καπνιζόταν σε μια συσκευή που μετρούσε την ηλεκτρική ροή. Ο Pearson παρατήρησε μια ηλεκτρική έξοδο πέντε φορές μεγαλύτερη από αυτήν που μπορούσε να παράξει το σελήνιο.

Λίγες εφευρέσεις στην ιστορία των εργαστηρίων Bell προκάλεσαν τόσο ενθουσιασμό στα μέσα μαζικής ενημέρωσης και στο κοινό όσο τα αποκαλυπτήρια του ηλιακού κελιού πυριτίου. (σχήμα 1.1). Εμπορική επιτυχία ωστόσο δεν επιτεύχθηκε λόγω του υψηλού κόστους των ηλιακών κελιών . Απεγνωσμένοι να βρουν εμπορεύσιμα προϊόντα που τροφοδοτούνται από ηλιακά κελιά, οι κατασκευαστές τα χρησιμοποίησαν για την τροφοδοσία καινοτόμων παιχνιδιών και του πρωτοεμφανιζόμενου ραδίου τρανζίστορ. Με τα ηλιακά κελιά να τροφοδοτούν μόνο παιχνίδια , ο Daryl Charin ένας εκ των δημιουργών των ηλιακών κελιών δεν μπορούσε να κρύψει την απογοήτευση του αναρωτούμενος « Τι θα κάνουμε με την καινούργια μας ανακάλυψη ;».



Εικόνα 1.1. Δημόσια επίδειξη ενός εκ των πρώτων module του ηλιακού κελιού πυριτίου των εργαστηρίων Bell. Εμφανίστηκε στην πρώτη διεθνή διάσκεψη για την ηλιακή ενέργεια στο Τούσον της Αριζόνα .

1.3 Η ΠΡΩΤΗ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΗΛΙΑΚΟΥ ΚΕΛΙΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Άγνωστο στον Charin τότε, το Πεντάγωνο του πρόσφερε μεγάλη υποστήριξη στην ανάπτυξη του ηλιακού κελιού πυριτίου. Το 1955 η Αμερικάνικη κυβέρνηση ανακοίνωσε την πρόθεση εκτόξευσης ενός δορυφόρου. Το πρωτότυπο χρησιμοποιούσε ηλιακά κελιά πυριτίου για ενέργεια. Από τη στιγμή που γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος δεν μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στο διάστημα, οι δορυφόροι χρειαζότανε μια μακράς διάρκειας αυτόνομη πηγή ενέργειας. Τα ηλιακά κελιά αποδείχθηκαν η τέλεια απάντηση (σχήμα 1.2). Η εκτόξευση του Vanguard, του πρώτου δορυφόρου εξοπλισμένου με ηλιακά κελιά απόδειξε την αξία τους. (σχήμα 1.3). Προηγούμενοι δορυφόροι, που χρησιμοποιούσαν μπαταρίες, έχασαν την ενέργεια τους μέσα σε μια εβδομάδα, καθιστώντας άχρηστο εξοπλισμό αξίας εκατομμυρίων δολαρίων. Σε αντίθεση, το τροφοδοτούμενο με ηλιακή ενέργεια Vanguard συνέχισε να επικοινωνεί με τη γη για πολλά χρόνια επιτρέποντας την ολοκλήρωση πολλών πολύτιμων πειραμάτων.

Η επιτυχία της τροφοδότησης του Vanguard με ηλιακή ενέργεια διέλυσε την επικρατούσα επιφύλαξη της εποχής εκείνης ως προς τη χρήση των ηλιακών κελιών στο διάστημα. Καθώς ο αγώνας στο διάστημα μεταξύ Αμερικανών και Ρώσων εντεινόταν, και οι δύο αντίπαλοι χρειαζότανε επείγοντως ηλιακά κελιά. Η ζήτηση άνοιξε μια σχετικά μεγάλη επιχείρηση για τις εταιρείες κατασκευής τους. Πιο σημαντικό, για πρώτη φορά στην ιστορία της ηλιακής ενέργειας, η ενέργεια του ήλιου αποδείχθηκε απαραίτητη για την κοινωνία. Χωρίς την ασφαλή, αξιόπιστη ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από τα φωτοβολταϊκά, η συντριπτική πλειοψηφία των διαστημικών εφαρμογών, τόσο ζωτικής σημασίας για την καθημερινή μας ζωή, δε θα είχε ποτέ πραγματοποιηθεί.

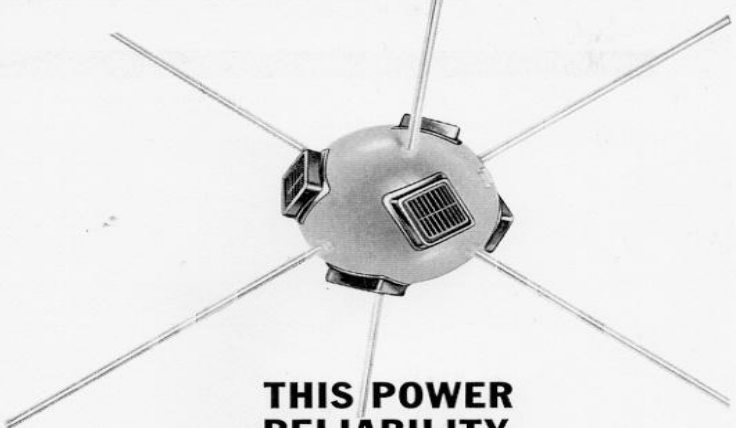


Εικόνα 1.2. Ένας τεχνικός προσκολλάει μια κωνική μύτη σφηνωμένη με δύο ομάδες ηλιακών κελιών για το πρώτο ταξίδι ηλιακού κελιού στο διάστημα. Η εκτόξευση απόδειξε την αποτελεσματικότητα των ηλιακών κελιών στην λειτουργία δορυφόρων .

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

A HOFFMAN SEMICONDUCTOR APPLICATION CASE HISTORY


Over 8,760 hours ago, the successful Vanguard Satellite was launched. We salute the U.S. Navy and its cooperating agencies, as the Satellite, launched a year ago, continues in orbit.



THIS POWER RELIABILITY PROBLEM HAD TO BE SOLVED

FOR SPACE VEHICLES

Hoffman Silicon Solar Cells were the solution




The transmitter of the U.S. Navy's Vanguard Satellite required an extremely reliable power source with the highest possible light energy conversion efficiency. Hoffman Silicon Solar Cells were chosen to do this exacting job. To date a new record has been set for continuous electrical power in outer space (with no "time-out" for refueling).

If you require a highly dependable electrical power supply, with a wide operating and storage temperature range of from -65°C to $+175^{\circ}\text{C}$, a higher light conversion efficiency (up to 10%), an extended spectral response range of from 4,000-11,500 angstroms, benefit from Hoffman's unequalled experience as the pioneer in the commercial development of Silicon Solar Cells and their uses.

For details consult the Hoffman Solar Cell applications specialist in your immediate area or write to Department SS.

If you need a job in electronics done quicker and better, contact

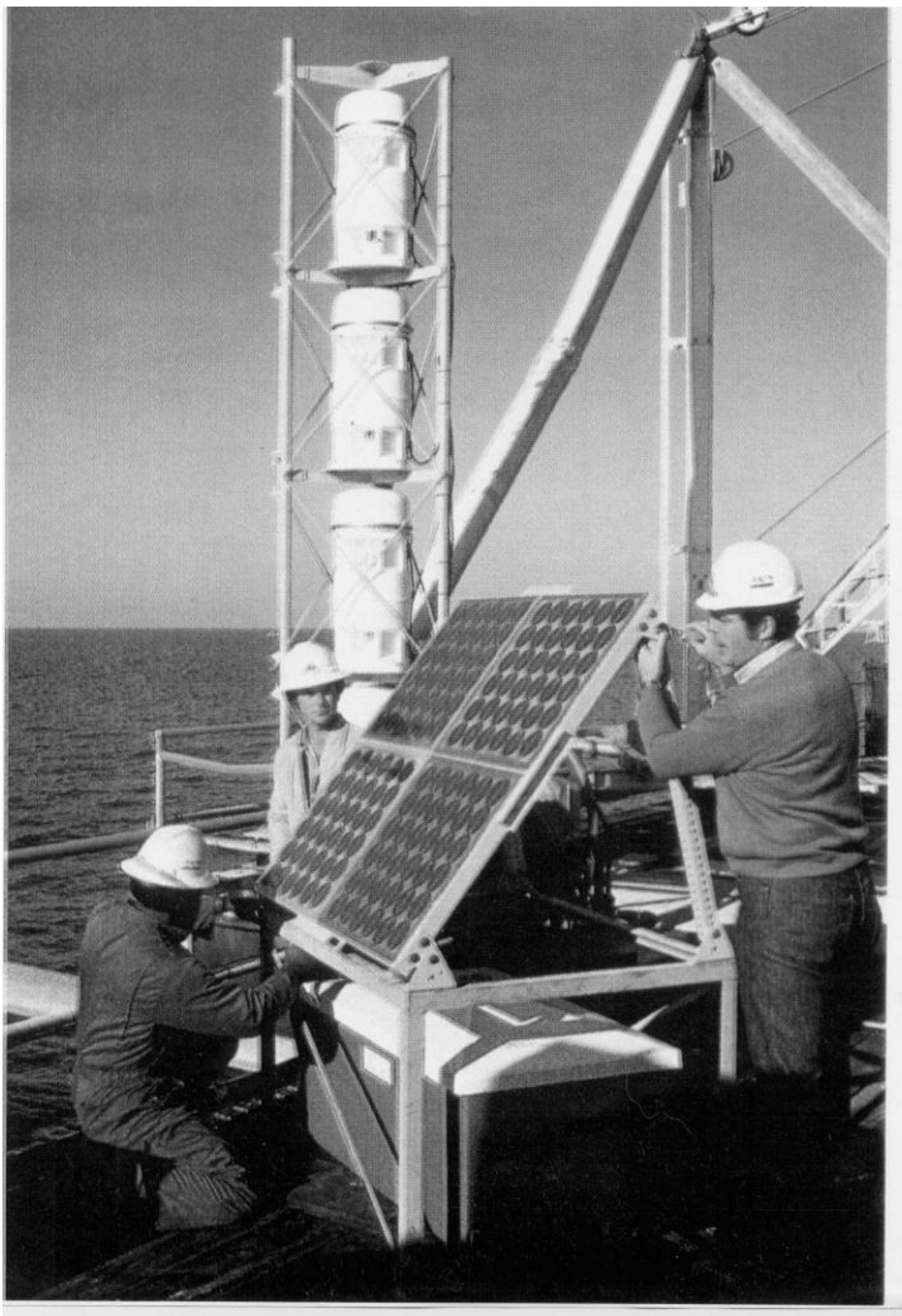
Hoffman Electronics 
CORPORATION
SEMICONDUCTOR DIVISION
930 FITNER AVENUE EVANSTON, ILLINOIS

Εικόνα 1.3 Η Hoffman Electronics δείχνει την επιτυχία της εγκατάστασης ηλιακών κελιών στον Vanguard, τον πρώτο δορυφόρο που χρησιμοποίησε ηλιακά κελιά και τον πρωτοπόρο που τους προετοίμασε το έδαφος ως κύρια πηγή ενέργειας στο διάστημα

1.4 ΧΕΡΣΑΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Ενώ έψαχναν τις προοπτικές των ηλιακών κελιών στο διάστημα στη δεκαετία του 1960 και στις αρχές του 1970, η αστρονομική τους τιμή τους κράτησε μακριά από έρευνες για την εφαρμογή τους πάνω στη Γη. Το 1968 ο Dr Elliot Berman εγκατέλειψε τη δουλειά του ως χημικός σε βιομηχανίες για να ασχοληθεί με την ανάπτυξη ηλιακών κελιών χαμηλού κόστους, ώστε να μπορέσει να εφαρμόσει την τεχνολογία τους και στη Γη. Ο Berman προφητικά οραματίστηκε ότι με μεγάλη πτώση των τιμών, τα φωτοβολταϊκά συστήματα θα μπορούσαν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην παροχή ηλεκτρισμού σε περιοχές πάνω στη Γη, όπου είναι δύσκολο να υπάρξει μια γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ισχύος. Έπειτα από 18 μηνών συνεχούς αναζήτησης για την εύρεση επενδυτικών κεφαλαίων, τα στελέχη της Exxon στους οποίους άρεσε η προσέγγιση του Berman, τον κάλεσαν να δουλέψει στα εργαστήρια τους στα τέλη του 1969. Απορρίπτοντας την εμμονή άλλων επιστημόνων με την αποτελεσματικότητα, ο Berman επικεντρώθηκε στη μείωση του κόστους χρησιμοποιώντας πυρίτιο χαμηλότερης ποιότητας και πιο φθηνά υλικά για τη συσκευασία των μοντέλων. Ρίχνοντας την τιμή από τα 200 στα 20 \$ ανά watt, τα ηλιακά κελιά μπορούσαν να ανταγωνισθούν εξοπλισμό που χρειάζεται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μακριά από πόλους χρησιμότητας.

Οι εταιρείες πετρελαίου έγιναν οι πρώτοι κύριοι πελάτες των ηλιακών μονάδων. Είχαν και την ανάγκη και τα χρήματα. Εξέδρες άντλησης πετρελαίου στον Κόλπο του Μεξικού έπρεπε να έχουν προειδοποιητικά φώτα και κόρνες. Οι περισσότερες από τις εξέδρες άντλησης πετρελαίου βασιζότανε σε τεράστιες μπαταρίες flashlight για τη λειτουργία των προειδοποιητικών φώτων και των κόρνων. Οι μπαταρίες χρειαζόντουσαν συντήρηση και έπρεπε να αντικαθιστούνται κάθε 9 μήνες. Η αντικατάσταση απαιτούσε ένα μεγάλο σκάφος με ενσωματωμένο γερανό, ή ένα ελικόπτερο. Σε αντίθεση, ένα μικρό σκάφος μπορούσε να μεταφέρει την πολύ ελαφρύτερη ηλιακή μονάδα και σε συνδυασμό με επαναφορτιζόμενη μπαταρία, επέτρεπε μεγάλη εξοικονόμηση ενέργειας. Μέχρι το 1980, τα φωτοβολταϊκά έγιναν η κύρια πηγή ενέργειας για προειδοποιητικά φώτα και κόρνες στις εξέδρες στον κόλπο του Μεξικού και σε όλο τον κόσμο. (εικόνα 1.4) .



Εικόνα 1.4. Εγκατάσταση ενός ηλιακού πάνελ σε μια πετρελαιοπηγή

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Οι εταιρείες πετρελαίου και φυσικού αερίου χρειάζονται επίσης μικρές ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας για την προστασία φρεατίων και αγωγών από τη διάβρωση. Στέλνοντας την με ακρίβεια στο έδαφος ηλεκτροχημικά, καταστρέφει τα μόρια διαβρώσεως που γεννούν το πρόβλημα. Επίσης πολλοί τομείς πετρελαίου και φυσικού αερίου, τόσο στην Αμερική όσο και σε άλλα μέρη του κόσμου, όπως στη Μέση Ανατολή και στη Βόρεια Αφρική, βρίσκονται σε περιοχές μακριά από γραμμές μεταφοράς ενέργειας, αλλά έχουν άφθονο ήλιο. Για τέτοιες περιπτώσεις, οι ηλιακές μονάδες έχουν αποδειχθεί ο πιο οικονομικός – αποδοτικός τρόπος παροχής με την απαιτούμενη ακρίβεια για την αποφυγή της διάβρωσης των σωλήνων.

Τα χρήματα που ξοδεύτηκαν για την αλλαγή των μη επαναφορτιζόμενων μπαταριών των σηματοδούρων της Αμερικάνικης Ακτοφυλακής, υπερέβην το αρχικό κόστος των σηματοδούρων. Ως εκ τούτου, ο Lloyd Lomer, ένας υπολοχαγός, διοικητής στην Ακτοφυλακή, ένιωσε ότι η μετάβαση σε φωτοβολταϊκά ως πηγή ενέργειας για τις σηματοδούρες θα έκανε αίσθηση από οικονομικής σκοπιάς. Όμως οι ανώτεροι του, τυφλωμένοι από τον ανταγωνισμό εμπόδισαν την προτεινόμενη αλλαγή. Ο Lomer συνέχισε τον αγώνα του, παίρνοντας έγκριση για δοκιμή ηλιακών συσκευών σε ένα από τα πιο δύσκολα περιβάλλοντα του κόσμου, την Αλάσκα. Η επιτυχία των τροφοδοτούμενων σηματοδούρων με φωτοβολταϊκά στην Αλάσκα απόδειξε την άποψη του Lomer. Παρόλα αυτά τα αφεντικά του αρνούσαν τη χρηματοδότηση. Πηγαίνοντας σε ακόμα υψηλότερα κλιμάκια στην κυβέρνηση, ο Lomer τελικά κέρδισε την έγκριση για τη μετατροπή όλων των σηματοδούρων με φωτοβολταϊκά.

Ο πρωτοπόρος στα ηλιακά Elliot Berman είδε τους σιδηροδρόμους ως ένα άλλο φυσικό χώρο για την εφαρμογή των φωτοβολταϊκών. Ένας από τους πωλητές του έπεισε τη Southern Railway να δοκιμάσει φωτοβολταϊκά για την τροφοδότηση σημάτων διασταύρωσης στο Rex της Georgia. Αυτοί οι φαινομενικά εύθραυστοι συλλέκτες, έδιναν την εντύπωση στους βετεράνους εργάτες του σιδηροδρόμου, ότι δεν μπορούν να τροφοδοτήσουν τίποτα. Γι' αυτό το λόγο τέθηκαν σε πρόγραμμα υποστήριξης. Ένα αστείο πράγμα συνέβηκε στο Rex της Georgia που άλλαξε τη γνώμη πολλών. Εκείνο το χειμώνα οι γραμμές έπεσαν σε πολλές περιπτώσεις λόγω του πάγου πάνω στα καλώδια. Η μόνη ηλεκτρική ενέργεια για μίλια τριγύρω προήλθε από την ηλιακή συστοιχία. Όπως ένας σκεπτικιστής ανέφερε, «Το Rex στη Georgia δίδαξε στη Southern ότι η ηλιακή δουλεύει.

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Με την επιτυχία στο Rex , η Southern αποφάσισε να βάλει φωτοβολταϊκά στο σύστημα ασφαλείας κυκλώματος , το αντίστοιχο στους σιδηροδρόμους με τον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας , το οποίο κρατά τα τρένα σε μια λογική απόσταση μεταξύ τους, εμποδίζοντας τα να συγκρουστούν μεταξύ τους. Η παρουσία ενός τρένου μεταβάλλει το ρυθμό ροής του ηλεκτρισμού που διέρχεται από το κύκλωμα . Ένας αποκωδικοποιητής μεταφράζει την αλλαγή και ανοιγοκλείνει διακόπτες στο κύκλωμα για να εξασφαλίσει την ασφαλή διάβαση όλων των τρένων στη συγκεκριμένη περιοχή. Σε απομακρυσμένα σημεία κατά μήκος της γραμμής τα φωτοβολταϊκά παρέχουν την απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Και άλλες εταιρείες σιδηροδρόμων ακολούθησαν το παράδειγμα της Southern. Παλαιότερα, οι στύλοι του τηλεγράφου και του τηλεφώνου ακολουθούσαν παράλληλα τις περισσότερες από τις σιδηροδρομικές γραμμές. Τα μηνύματα που στέλνονταν μέσω αυτών των καλωδίων κρατούσαν ενήμερους τους σιδηροδρόμους για θέματα υψίστης σημασίας για την ασφαλή και εύρυθμη λειτουργία της σιδηροδρομικής γραμμής. Αλλά από τα μέσα του 1970, οι ασύρματες επικοινωνίες μπορούσαν να εκτελέσουν τα ίδια καθήκοντα. Οι σιδηρόδρομοι άρχισαν να αντικαθιστούν τους στύλους. Όταν βρίσκονταν συσκευές του κυκλώματος γραμμών μακριά από δίκτυα κοινής ωφέλειας , βασίζονταν στα φωτοβολταϊκά .

Το Σώμα Διαβιβάσεων του Αμερικάνικου Στρατού, οι οποίοι πρωτοστάτησαν στη χρήση ηλιακής ενέργειας στο διάστημα εξοπλίζοντας τον Vanguard, ήταν οι πρώτοι που χρησιμοποίησαν τα φωτοβολταϊκά στη Γη. Τον Ιούνιο του 1960, το Σώμα Διαβιβάσεων χρηματοδότησε την πρώτη υπερηπειρωτική ραδιοφωνική μετάδοση που βασιζότανε στην ηλιακή ενέργεια, για να γιορτάσει την εκατοστή επέτειο του. Οι διαβιβάσεις, πιθανώς ο μεγαλύτερος υποστηρικτής των φωτοβολταϊκών στα τέλη της δεκαετίας του 50 μέχρι τις αρχές του 60, οραματίστηκαν ότι η ηλιακή εκπομπή θα οδηγούσε και άλλους στη χρησιμοποίηση φωτοβολταϊκών για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας, για τη λειτουργία ραδιοφωνικών και τηλεφωνικών δικτύων σε απομακρυσμένες περιοχές .

Δεκατέσσερα χρόνια αργότερα , ο John Oades πραγματοποίησε το όνειρο του Σώματος, τοποθετώντας τον πρώτο αναμεταδότη μικροκυμάτων που λειτουργούσε με φωτοβολταϊκά στα βραχώδη όρη της Γιούτα (σχήμα 1.5). Ελαχιστοποιώντας τις ενεργειακές ανάγκες του αναμεταδότη μικροκυμάτων, ο Oades μπορούσε να

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

τροφοδοτήσει τον αναμεταδότη με ένα μικρό φωτοβολταϊκό πάνελ, περιορίζοντας έτσι τα έξοδα στο ελάχιστο.

Η εφεύρεση του επέτρεψε στους ανθρώπους που ζούνε σε πόλεις στα βραχώδη όρη της Αμερικής να απολαύσουν την πολυτέλεια των υπεραστικών τηλεφωνικών κλήσεων, κάτι που οι περισσότεροι Αμερικάνοι το θεωρούσαν δεδομένο. Πριν τον ηλιακά τροφοδοτούμενο αναμεταδότη, το κόστος των τηλεφωνικών εταιρειών για να εγκαταστήσουν γραμμές ή καλώδια ήταν πολύ υψηλό. Αυτό ανάγκαζε τους ανθρώπους να οδηγούνε για ώρες, πολλές φορές μέσα σε χιονοθύελλες, μόνο και μόνο για να πραγματοποιήσουν υπεραστικά τηλεφωνήματα



Εικόνα 1.5. Ο John Oakes , στα αριστερά , κάθεται στην κορυφή του ηλιακού αναμεταδότη , καθώς εποπτεύει την εγκατάσταση του ηλιακού αναμεταδότη μικροκυμάτων .

Η Αυστραλία είχε μια ακόμη πιο δύσκολη πρόκληση. Έπρεπε να φέρει τις σύγχρονες τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες στους αγρότες κατοίκους της. Αν και περίπου το ίδιο μέγεθος σε έκταση με τις ΗΠΑ , μόνο 22 εκατομμύρια άνθρωποι ζούσαν στην Αυστραλία στις αρχές του 1970, τη στιγμή που η κυβέρνηση ανάθεσε

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

στην Telecom Australia την παροχή σε κάθε πολίτη των ίδιων τηλεφωνικών, ραδιοφωνικών, τηλεοπτικών υπηρεσιών με τους αστούς κατοίκους της Μελβούρνης και του Σύδνεϋ, ανεξαρτήτως της περιοχής που έμενε.

Η Telecom Australia προσπάθησε δίχως να έχει επιτυχία, με παραδοσιακά αυτόνομης ενέργειας συστήματα, όπως γεννήτριες, μηχανήματα ανέμου και μη επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, να χρησιμοποιήσει αυτόνομους τηλεφωνικούς δέκτες και πομπούς για τους κατοίκους των απομακρυσμένων περιοχών. Ευτυχώς, από το 1974 και μετά είχε και άλλη επιλογή, σχετικά φτηνά ηλιακά κελιά κατασκευασμένα από την εταιρεία του Elliot Berman, την Solar Power Corporation. Το πρώτο τηλέφωνο που δούλευε με φωτοβολταϊκά εγκαταστάθηκε στη Βικτώρια. Μέχρι το 1976, η Telecom Australia έκρινε τα φωτοβολταϊκά ως προτιμώμενη πηγή ενέργειας για τηλέφωνα σε απομακρυσμένες περιοχές. Στην πραγματικότητα, τα τηλέφωνα που λειτουργούσαν με ηλιακή ενέργεια αποδείχθηκαν τόσο επιτυχή που μηχανικοί της Telecom Australia αισθάνθηκαν έτοιμοι για την ανάπτυξη μεγάλων τηλεπικοινωνιακών δικτύων που λειτουργούν με φωτοβολταϊκά, συνδέοντας έτσι κάποιες πολύ απομονωμένες πόλεις με το εθνικό τηλεφωνικό και τηλεοπτικό δίκτυο της Αυστραλίας. Χάρη στα φωτοβολταϊκά, οι άνθρωποι σ' αυτές αλλά και σε γειτονικές πόλεις μπορούσαν να τηλεφωνήσουν απευθείας σε μεγάλη απόσταση αντί να καλέσουν πρώτα τον τηλεφωνητή και να φωνάζουν στο τηλέφωνο προκειμένου να γίνουν κατανοητοί. Επίσης, μπορούσαν να βλέπουν ειδήσεις της επικαιρότητας απευθείας αντί να περιμένουν να παιχτούν στον τοπικό σταθμό με καθυστέρηση ωρών, ίσως και ημερών. Τελικά, 70 δίκτυα αναμετάδοσης μικροκυμάτων που λειτουργούσαν με ηλιακή ενέργεια κατασκευάστηκαν, το μεγαλύτερο από αυτά εκτεινόταν σε 1500 μίλια. Η επιτυχία των Αυστραλών και των Αμερικάνων έδειξε στον υπόλοιπο κόσμο με εμφαντικό τρόπο ότι η ηλιακή ενέργεια δουλεύει και ότι χιλιάδες άνθρωποι ωφελήθηκαν από αυτή. Το 1985 μια συναίνεση στον τομέα των τηλεπικοινωνιών ανέδειξε τα φωτοβολταϊκά ως το προτιμώμενο σύστημα παραγωγής ενέργειας για απομακρυσμένες επικοινωνίες.

Μερικά χρόνια νωρίτερα, το Μάλι, μια χώρα ακριβώς κάτω από την Σαχάρα, υπέφερε από ξηρασία τόσο δυσβάσταχτη που είχε σαν αποτέλεσμα χιλιάδες άνθρωποι και ζώα να πέφτουν κάτω σαν τις μύγες. Η κυβέρνηση του Μάλι ήξερε ότι δεν μπορούσε να σώσει τον πληθυσμό χωρίς τη βοήθεια ανθρώπων σαν τον Πατέρα

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Βερσπιερέν, ένα Γάλλο ιερέα που είχε ζήσει στο Μάλι για δεκαετίες και διοίκησε με επιτυχία αρκετές γεωπονικές σχολές. Η κυβέρνηση ζήτησε από τον Βερσπιερέν να σχηματίσει μια ιδιωτική εταιρεία που θα αξιοποιούσε τον τεράστιο υδροφόρο ορίζοντα που υπάρχει κάτω από την έρημο του Μάλι. Ο Βερσπιερέν είδε τη γεώτρηση ως το εύκολο μέρος. Πρόκληση του ήταν η άντληση. Δεν υπήρχαν γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος εκεί κοντά και οι γεννήτριες θέτονταν σε αδράνεια λόγω έλλειψης επισκευών ή καυσίμων. Τότε άκουσε για μία αντλία νερού στην Κορσική που λειτουργούσε χωρίς καύσιμα, κινούμενα μέρη, μόνο από την ενέργεια του ήλιου. Ο Βερσπιερέν έσπευσε να επισκεφθεί την πρωτοποριακή εγκατάσταση. Όταν είδε τη φωτοβολταϊκή αντλία, κατάλαβε ότι μόνο αυτή η τεχνολογία μπορούσε να σώσει το λαό του Μάλι. Μέχρι τα τέλη του 1970 ο Βερσπιερέν είχε εγκαινιάσει την πρώτη αντλία νερού που λειτουργούσε με φωτοβολταϊκά. (εικόνα 1.6).

Μέχρι το 1980 το Μάλι, μια από τις φτωχότερες χώρες στον κόσμο, είχε περισσότερες φωτοβολταϊκές αντλίες νερού ανά κάτοικο στον κόσμο παρά οποιαδήποτε άλλη χώρα, χάρη στις προσπάθειες του Βερσπιερέν. Ο ιερέας απόδειξε ότι η επιτυχία απαιτεί τον καλύτερο εξοπλισμό, μια υψηλά εξειδικευμένη και άρτια εξοπλισμένη υπηρεσία συντήρησης, καθώς και οικονομική συμμετοχή από τους καταναλωτές. Οι καταναλωτές επένδυσαν τα χρήματά τους αγοράζοντας τον εξοπλισμό και την εν εξέλιξη συντήρηση, αλλά κυρίως, θεωρούσαν τα πάνελ και τις αντλίες αντικείμενα αξίας, κάτι που βοήθούσε στη φροντίδα τους. Τα πιο πετυχημένα προγράμματα στον αναπτυσσόμενο κόσμο έχουν ακολουθήσει το παράδειγμα του Βερσπιερέν. Όταν ο Πατέρας Βερσπιερέν ξεκίνησε το πρόγραμμα άντλησης νερού με αντλίες φωτοβολταϊκών, λιγότερες από δέκα τέτοιες αντλίες υπήρχαν σε όλο τον κόσμο . Τώρα χιλιάδες από αυτές παρέχουν νερό σε ανθρώπους, ζωντανά και καλλιέργειες .

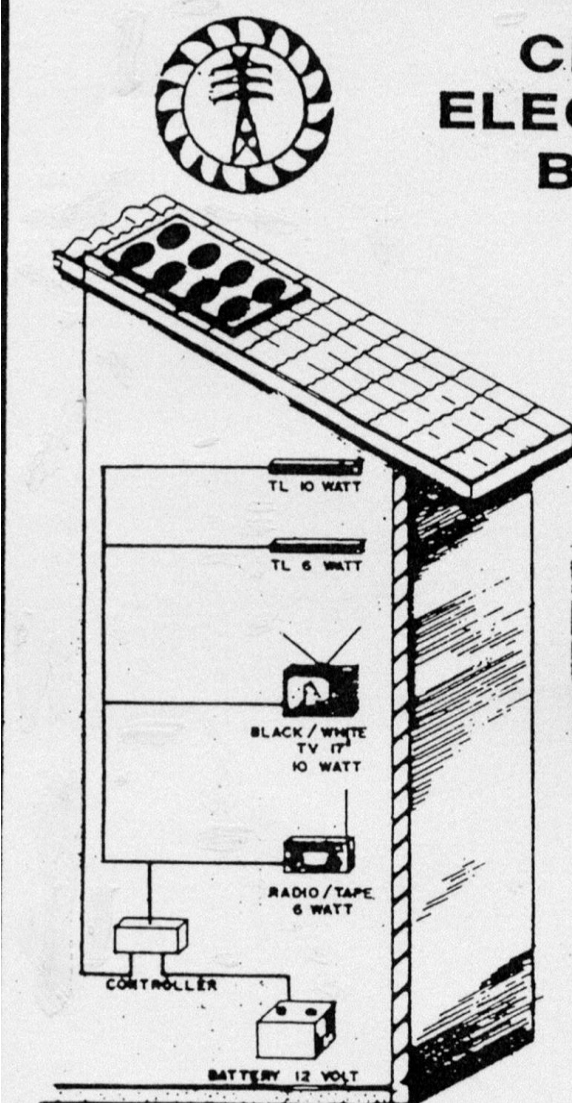


Εικόνα 1.6. Νεαρά παιδιά από το Μάλι παρακολουθούν μια φωτοβολταϊκή αντλία να γεμίζει την μέχρι πριν κενή δεξαμενή του χωριού τους με νερό

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Παρά την επιτυχία των φωτοβολταϊκών εφαρμογών σε όλο τον κόσμο από το 1970 μέχρι τις αρχές του 80, τα ιδρύματα υπεύθυνα για τα προγράμματα ηλεκτροδότησης αγροτικών περιοχών στις αναπτυσσόμενες χώρες, δεν εξέτασαν την εγκατάσταση ηλιακών ηλεκτρικών πάνελ για την τροφοδότηση χωριών μακριά από κατοικημένες περιοχές. Δουλεύοντας από τα γραφεία τους στη Δύση ή σε μεγάλες πόλεις φτωχότερων χωρών, σκεφτόντουσαν για τις αναπτυσσόμενες χώρες κεντρικούς σταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας που θα λειτουργούν με πυρηνική ενέργεια, πετρέλαιο ή άνθρακα. Μην έχοντας ζήσει « έξω στον αληθινό κόσμο », αυτοί οι ειδικοί δε συνειδητοποιούσαν το μέγεθος της επένδυσης που απαιτούνταν για λεπτά σύρματα, από τους σταθμούς ενέργειας στο πλήθος που κατοικούσε σε μικρά χωριά μίλια μακριά.

Ως αποτέλεσμα, μόνο πυκνοκατοικημένες περιοχές έλαβαν ηλεκτρισμό, αφήνοντας δισεκατομμύρια στην ύπαιθρο χωρίς ηλεκτρική ενέργεια. Η άνιση κατανομή στην παροχή ενέργειας βοήθησε στην εσωτερική μετανάστευση σε πόλεις στην Αφρική, Ασία και Λατινική Αμερική. Σαν αποτέλεσμα, μεγαλουπόλεις σαν την Πόλη του Μεξικού, το Λάγος και τη Βομβάη αντιμετώπισαν αναδυόμενα προβλήματα, όπως εγκληματικότητα, ασθένειες (AIDS), μόλυνση και φτώχεια. Η συντριπτική πλειοψηφία των ανθρώπων που ζούνε στην ύπαιθρο δεν έχουν ηλεκτρισμό. Για να έχουν κάποια μικρή ποσότητα φωτισμού πρέπει να καταφύγουν σε λύσεις όπως λάμπες κηροζίνης. Οι άνθρωποι που αγοράζουν ραδιόφωνα, μαγνητόφωνα και τηλεοράσεις πρέπει επίσης να προμηθευτούν μπαταρίες. Φαίνεται ότι το δυτικό μοντέλο ηλεκτροδότησης δεν έχει δουλέψει στον αναπτυσσόμενο κόσμο. Αντί να προσπαθούν να τοποθετήσουν καλώδια και πόλους σε περιοχές που το οικονομικό κόστος την καθιστά αδύνατη, φέρνοντας μια 20 - 30 χρόνια προμήθεια ηλεκτρισμού που περιέχεται σε ηλιακά μοντέλα, στους καταναλωτές, βρίσκουν μια πιο εφικτή και εύκολη λύση (εικόνα 1.7). Αντί να περιμένουν για χρόνια την κατασκευή ενός κεντρικού ηλεκτρικού σταθμού, αν ποτέ κατασκευαστεί, περιμένοντας τις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας να συνδεθούν για τη μεταφορά ηλεκτρισμού, παίρνει λιγότερο από μια μέρα για την εγκατάσταση ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος.



**CEYLON
ELECTRICITY
BOARD**

If you live far from the National grid, you get the electricity supply through a solar panel for lighting, TV and a Radio.

We offer three types of panels with good quality batteries, lamps and other accessories at a reasonable price.

Prices

1. 10 W solar panel with a battery 03 Nos. tube lights (8 W) — All inclusive price Rs.9,500/-
2. 20 W solar panel with a battery, 04 Nos. tube lights (8 W) — All inclusive price Rs.14,500/-
3. 30 W solar panel with a battery, 04 Nos. tube lights (10 W) — All inclusive price Rs.17,000/-

A leaflet about their installation and maintenance will be supplied free of charge.

For further details, please contact.
Chief Engineer,
Alternative Energy Development Unit,
Ceylon Electricity Board,
P.O. Box 540, Colombo.
Tel: 328801

Εικόνα 1.7. Το 1984, διαφημίσεις σαν και αυτήν εμφανίστηκαν στις κυριότερες εφημερίδες της Σρι Λάνκα, για να ενημερώσουν τους χωρικούς που ζούνε μακριά από πόλους χρησιμότητας, ότι ο Ceylon Electricity Board, ο εθνικός οργανισμός ενέργειας, τους προσέφερε πρόσβαση στον ηλεκτρισμό από ηλιακά κελιά εγκαταστημένα επί τόπου.

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Κατά ειρωνικό τρόπο, η Γαλλική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας πρωτοπόρησε ηλεκτροδοτώντας με φωτοβολταϊκά απομακρυσμένα σπίτια στα μακρινά νησιά της Ταϊτής. Η Ατομική Επιτροπή πίστευε ότι ηλεκτροδοτώντας την Ταϊτή θα μετρίαζε το αίσθημα των κατοίκων της περιοχής από τις δοκιμές πυρηνικών βομβών στον Νότιο Ειρηνικό. Η Επιτροπή εξέτασε όλες τις δυνατότητες, συμπεριλαμβανομένων γεννητριών, ανεμογεννητριών και βιοαερίου από το φλοιό του κελύφους της καρύδας, πριν καταλήξει στα φωτοβολταϊκά. Το 1983, το 20% της παγκόσμιας παραγωγής ηλιακών κελιών χρησιμοποιούνταν στη Γαλλική Πολυνησία. Μέχρι το 1987, τα μισά από τα σπίτια σ' αυτά τα νησιά έπαιρναν ηλεκτρισμό από τον ήλιο .

Οι κάτοικοι της υπαίθρου στην Κένυα ένωσαν ότι θα περνούσαν πολλά χρόνια, αν περίμεναν να τους φέρουν ηλεκτρισμό οι υπηρεσίες κοινής ωφέλειας. Για να έχουν ηλεκτρισμό άμεσα, πολλοί Κενυάτες έχουν αγοράσει φωτοβολταϊκές μονάδες. Η ισχύς μιας τυπικής μονάδας κυμαίνεται από 12-25 Watt, αρκετά για να φορτίσουν μια μπαταρία, με την οποία θα λειτουργήσουν τρία χαμηλής ισχύος φώτα φθορίου και τηλεόραση για τρεις ώρες το βράδυ. Ο ηλεκτρικός φωτισμός που παρέχεται από τα φωτοβολταϊκά, διώχνει τον κίνδυνο των επικίνδυνων αναθυμιάσεων και την απειλή της φωτιάς που είχαν να αντιμετωπίσουν άνθρωποι με λάμπες κηροζίνης στα σπίτια τους . Χάρη στα φωτοβολταϊκά, τα παιδιά μπορούν να κάνουν τα μαθήματά τους χωρίς να αντιμετωπίζουν προβλήματα στα μάτια και να έχουν βήχα, λόγω της μελέτης με λάμπες κηροζίνης

Η ηλεκτρική ενέργεια από φωτοβολταϊκά επιτρέπει στους κατοίκους των αγροτικών περιοχών να απολαύσουν τις ανέσεις των αστικών περιοχών, χωρίς να χρειαστεί να αφήσουν τις κατοικίες τους για τις πόλεις. Η κυβέρνηση της Μογγολίας, για παράδειγμα, πίστευε ότι θα μπορούσε να βελτιώσει τη ζωή των νομάδων κατοίκων της εντάσσοντας τους σε κοινότητες, έτσι ώστε να μπορούν να έχουν ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από κεντρική μονάδα ενέργειας. Οι νομάδες αρνήθηκαν. Τα φωτοβολταϊκά επιτρέπουν στους νομάδες Μογγόλους να συμμετέχουν στο πρόγραμμα ηλεκτροδότησης της κυβέρνησης, χωρίς να χρειαστεί να εγκαταλείψουν τον παραδοσιακό τρόπο ζωής τους. Όταν μετακινούνται, τα ηλιακά πάνελ τα μεταφέρουν μαζί τους, όπως και ό,τι άλλο αντικείμενο αξίας έχουν.

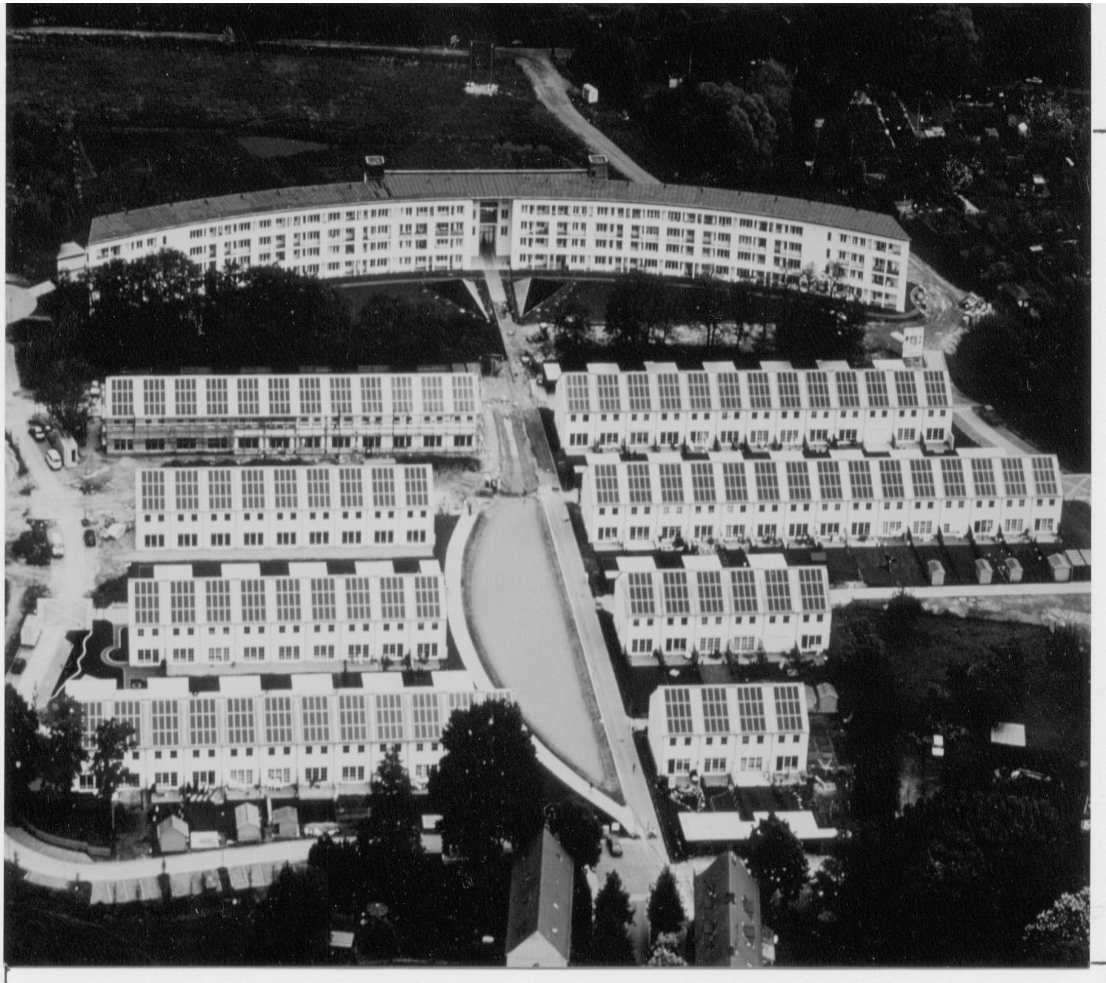
Με την αυξανόμενη δημοτικότητα των φωτοβολταϊκών στον αναπτυσσόμενο κόσμο, έχει γίνει μόδα η κλοπή των ηλιακών συλλεκτών. Τίποτα δε δείχνει καλύτερα,

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

την αξία των φωτοβολταϊκών για τους ανθρώπους του αναπτυσσόμενου κόσμου, από τη μεγάλη αύξηση των κλοπών των φωτοβολταϊκών μονάδων τα τελευταία χρόνια.

Καθώς η τιμή των ηλιακών κελιών συνεχίζει να πέφτει, συσκευές που λειτουργούν με ηλιακά κελιά, αποτελούν τμήμα του τοπίου των προαστίων και των πόλεων του αναπτυσσόμενου κόσμου. Για παράδειγμα, τα συνεργεία κατασκευής έπρεπε να σκάβουν μια περιοχή, κάθε φορά που ήθελαν να τοποθετήσουν υπόγειες γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Αντιθέτως, η εγκατάσταση ηλιακών κελιών είναι πιο εύκολη και ανέξοδη. Η εξοικονόμηση χρημάτων, οδήγησε στη χρησιμοποίηση ηλιακών κελιών, για κουτιά κλήσης έκτακτης ανάγκης κατά μήκος των δρόμων, σε όλο τον κόσμο. Μόνο στην Καλιφόρνια υπάρχουν παραπάνω από 30000 τηλεφωνικά κουτιά. Το Αναχέιμ της Καλιφόρνια έπρεπε να ξοδέψει περίπου \$11 εκατομμύρια, για να συνδέσει τα 11000 τηλεφωνικά κουτιά του στο ηλεκτρικό δίκτυο. Διαλέγοντας αντιθέτως φωτοβολταϊκά, η πόλη έπρεπε να ξοδέψει μόνο \$4,5 εκατομμύρια. Η πόλη του Λας Βέγκας βρήκε φθηνότερη την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών για το φωτισμό των νέων στεγάστρων στις στάσεις λεωφορείων, παρά το σκάψιμο του δρόμου και των πεζοδρομίων για την τοποθέτηση καλωδίων, που απαιτούνται για το λόγο αυτό .

Στα μέσα του 1970 και του 1980, όταν οι κυβερνήσεις των αναπτυσσόμενων χωρών άρχισαν να χρηματοδοτούν τα φωτοβολταϊκά προγράμματα, αντέγραψαν τον παραδοσιακό τρόπο παραγωγής και μεταφοράς του ηλεκτρισμού, ευνοώντας την κατασκευή μεγάλων πεδίων φωτοβολταϊκών πάνελ, μακριά από το μέρος όπου θα χρησιμοποιούταν ο ηλεκτρισμός. Για τη μεταφορά του ηλεκτρισμού θα κατασκευαζότανε μίλια γραμμών μεταφοράς. Άλλοι, ωστόσο, έχουν αμφισβητήσει αυτήν την προσέγγιση. Όταν ο Charls Fritts έχτισε την πρώτη φωτοβολταϊκή μονάδα σεληνίου στη δεκαετία του 1880 και με τόλμη προέβλεψε ότι σύντομα θα ανταγωνιζόταν τις γεννήτριες του Τόμας Εντισον, οραματίστηκε το κάθε σπίτι να έχει τη δική του μονάδα ισχύος. Από τα τέλη του 1980, οι περισσότεροι στη «βιομηχανία» των φωτοβολταϊκών έχουν ενστερνιστεί την άποψη του Fritts. Αντί να χρειαστεί να αγοραστεί μια τεράστια έκταση γης, κάτι αδιανόητο στην πυκνοκατοικημένη Ευρώπη και Ιαπωνία, για να τοποθετηθεί ένα πεδίο με πάνελ, πολλοί άνθρωποι άρχισαν να αναρωτιούνται, γιατί να μην έχει το κάθε κτίριο το δικό του σταθμό ενέργειας. (εικόνα 1.8).



Εικόνα 1.8. Ηλιακά πάνελ καλύπτουν τις οροφές ενός συμπλέγματος σπιτιών στη Βρέμη της Γερμανίας .

Η χρήση φωτοβολταϊκών σαν οικοδομικά υλικά τους επιτρέπει να χρησιμοποιηθούν ως παράθυρα, φεγγίτες, στέγες, προσόψεις ή όποιο άλλο είδος κάλυψης χρειάζεται ένα σπίτι ή κτίριο. Αυτό έχει μεγάλη σημασία για τον ιδιοκτήτη, που παίρνει οικοδομικό υλικό και ηλεκτρική γεννήτρια σ' ένα πακέτο. Τοποθετώντας την ηλεκτρική παραγωγή εκεί που η ηλεκτρική ενέργεια θα χρησιμοποιηθεί, έχουμε πολλά πλεονεκτήματα. Μειώνεται πολύ ο φόρτος του ηλεκτρικού δικτύου, εξαλείφοντας τις απώλειες που υπάρχουν στη μετάδοση μεταξύ των σταθμών παραγωγής ενέργειας. Επίσης βοηθάει στην πρόληψη των υπερφορτώσεων και των διακοπών ρεύματος, την ευπάθεια στην τρομοκρατία. Γενικά απλοποιείται η

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καταργώντας πολλά βήματα από την εξόρυξη, κατεργασία και μεταφορά καυσίμων στους σταθμούς ενέργειας και στη συνέχεια την αποστολή ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις για την ηλεκτροδότηση ενός σπιτιού.

1.5. ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Παρόλο που η βιομηχανία των φωτοβολταϊκών έχει μια τεράστια ετήσια αύξηση 20% στο ρυθμό ανάπτυξης κατά την τελευταία δεκαετία, μόλις τώρα έχει αρχίσει να συνειδητοποιούν τις δυνατότητες της. Ενώ πάνω από ένα εκατομμύριο νοικοκυριά στην Ινδία μόνο, παίρνουν ηλεκτρισμό από ηλιακά κελιά, περισσότερα από δύο δισεκατομμύρια δεν έχουν ηλεκτρικό ρεύμα. Η συνεχιζόμενη επανάσταση στο χώρο των τηλεπικοινωνιών δίνει μεγαλύτερη έμφαση στη χρήση των φωτοβολταϊκών. Όπως συμβαίνει και με τις υπηρεσίες ηλεκτρισμού, το μεγάλο κόστος των τηλεφωνικών καλωδίων διατηρεί το μεγαλύτερο τμήμα του αναπτυσσόμενου κόσμου χωρίς υπηρεσίες επικοινωνιών, κάτι που οι άνθρωποι που ζουν στις πιο αναπτυγμένες χώρες θεωρούν ως δεδομένο. Δορυφόροι που λειτουργούν με φωτοβολταϊκά, καθώς και ο συνδυασμός και των δυο, προσφέρουν τη μόνη ελπίδα για τη γεφύρωση του ψηφιακού χάσματος. Τα φωτοβολταϊκά θα μπορούσαν να προσφέρουν στον καθένα τη δυνατότητα να τηλεφωνήσει από το σπίτι του ή να σερφάρει στο Internet.

Οι ευκαιρίες για τα φωτοβολταϊκά στον αναπτυσσόμενο κόσμο συνεχίζουν να αυξάνονται. Στην Αμερική και τη Δυτική Ευρώπη, χιλιάδες εξοχικές κατοικίες είναι πολύ μακριά για τη χρησιμότητα των ηλεκτρικών υπηρεσιών. Στους ανθρώπους που ζουν σε εξοχικά που είναι πιο μακριά από 250 μέτρα από ένα πόλο χρησιμότητας, τους συμφέρει καλύτερα να εγκαταστήσουν φωτοβολταϊκά για τις ανάγκες του σπιτιού, παρά να πληρώσουν τα καλώδια για τη σύνδεση τους με το δίκτυο. Δεκατέσσερις χιλιάδες Ελβετικά Αλπικά σαλέ και χιλιάδες άλλα σε όλο τον κόσμο παίρνουν ηλεκτρισμό από την ηλιακή ενέργεια.

Πολλές εγκαταστάσεις κάμπινγκ τώρα απαγορεύουν τους ιδιοκτήτες των οχημάτων αναψυχής να λειτουργούν τις μηχανές τους για την τροφοδοσία των ηλεκτρικών συσκευών τους μέσω γεννητριών στο χώρο του κάμπινγκ. Τα καυσαέρια ρυπαίνουν και ο θόρυβος ενοχλεί τους άλλους κατασκηνωτές, ιδιαίτερα τη νύχτα. Φωτοβολταϊκά πάνελ, εγκαταστημένα στην οροφή των οχημάτων αναψυχής, παρέχουν τον απαιτούμενο ηλεκτρισμό χωρίς να ενοχλούν τους άλλους.

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Ο περιορισμός της εκπομπής των αερίων του διοξειδίου του άνθρακα για να μετριαστεί η υπερθέρμανση του πλανήτη, μπορεί να οδηγήσει στη χρηματοδότηση προγραμμάτων με φωτοβολταϊκά, αντί της καύσης ορυκτών καυσίμων. Οι ζημιές που προκλήθηκαν το 1997-1998 από το El Nino , μας δίνει μια γεύση του καιρού που αναμένεται, καθώς η Γη θερμαίνεται. Η προβλεπόμενη αύξηση των φυσικών καταστροφών, καθώς και η αύξηση του αριθμού των ανθρώπων που ζούνε σε περιοχές που απειλούνται, καθιστούν τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης απαραίτητα.

Η απόλυτη μηχανή έγκαιρης προειδοποίησης μπορεί να αποτελείται από πιλοτικά αεροπλάνα επιτήρησης καιρικών συνθηκών που λειτουργούν με φωτοβολταϊκά, το πρωτότυπο των οποίων είναι το Ήλιος. Το Ήλιος έχει πετάξει ψηλότερα από κάθε άλλο αεροσκάφος. Ηλιακά κελιά συνθέτουν την οροφή του αεροσκάφους, το οποίο αποτελείται από ένα μόνο φτερό και έλικες. Οι διάδοχοι του Ήλιος θα έχουν κυψέλες καυσίμου στην κάτω πλευρά του φτερού. Θα παίρνουν ενέργεια από τα φωτοβολταϊκά πάνελ κατά τη διάρκεια της ημέρας, αποσπώντας υδρογόνο και οξυγόνο από το νερό που απορρίπτεται από τις κυψέλες καυσίμου την προηγούμενη νύχτα. Όταν ο ήλιος δύσει, το υδρογόνο και οξυγόνο θα τροφοδοτούν τις κυψέλες καυσίμου , παράγοντας αρκετή ενέργεια τη νύχτα για να λειτουργήσει το αεροσκάφος. Το νερό που αποβάλλεται κατά τη διαδικασία θα επιτρέψει τον ημερήσιο κύκλο να ξεκινήσει το επόμενο πρωί. Η παράλληλη χρησιμοποίηση των ηλιακών κελιών και των κυψελών καυσίμου θα επιτρέψει στο αεροσκάφος να μένει για πάντα ψηλά, πολύ πάνω από τις αναταράξεις, παρακολουθώντας και ανιχνεύοντας τυφώνες, καθώς και άλλες ενδεχομένως επικίνδυνες καιρικές και φυσικές καταστροφές.

Επαναστατικά στοιχεία φωτός που ονομάζονται δίοδοι εκπομπής φωτός (LEDs) παράγουν την ίδια ποιότητα φωτισμού με τους προκατόχους τους, με το ένα κλάσμα της ενέργειας. Ως εκ τούτου τα LEDs μειώνουν σημαντικά την ποσότητα των πάνελ και των μπαταριών που χρειάζεται για να παραχθεί φως, καθιστώντας ένα φωτοβολταϊκό σύστημα λιγότερο δαπανηρό και δυσκίνητο. Τα φωτοβολταϊκά έχουν αντικαταστήσει τις γεννήτριες βενζίνης στα κινητά προειδοποιητικά σήματα που χρησιμοποιούνται σε αυτοκινητόδρομους για να προειδοποιούν τους αυτοκινητιστές σχετικά με το κλείσιμο λωρίδων και άλλων προσωρινών προβλημάτων που πρέπει να

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

ξέρουν . Η ενδεχόμενη αντικατάσταση του οικιακού φωτισμού με LEDs θα κάνει το ίδιο για τα φωτοβολταϊκά στα σπίτια.

Για να γίνουν τα φωτοβολταϊκά κυρίαρχη τάση, απαιτείται περαιτέρω μείωση του κόστους τους. Πολλοί ερευνητές πιστεύουν ότι η μεγαλύτερη ζήτηση θα το πετύχαινε αυτό, γιατί για κάθε διπλασιασμό της παραγωγής , η τιμή πέφτει κατά 20%. Άλλοι πιστεύουν ότι νέοι μέθοδοι παραγωγής των ηλιακών κελιών πυριτίου θα μειώσει σημαντικά την τιμή τους. Κάποιοι ερευνητές εξερευνούν την ανάπτυξη λιγότερο ακριβού πυριτίου από ζωοτροφές. Σήμερα, τα περισσότερα φωτοβολταϊκά υλικά φτιάχνονται από πυρίτιο.

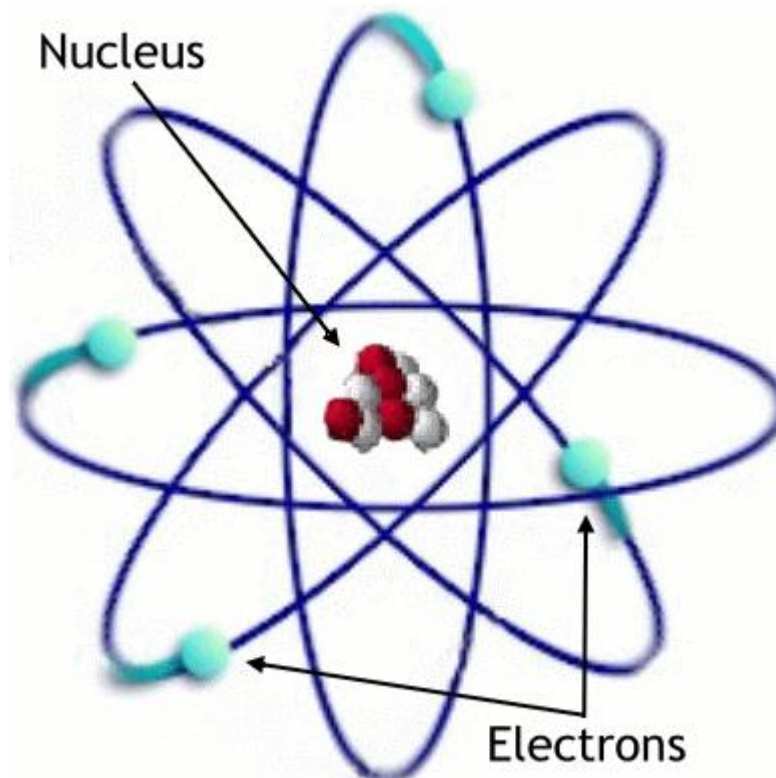
Νέοι λιγότερο δαπανηροί και σπάταλοι τρόποι κατασκευής ηλιακών κελιών υπόσχονται πολύ χαμηλότερες τιμές. Ένας αριθμός εταιρειών, για παράδειγμα, έχουν ξεκινήσει να παράγουν κελιά κατευθείαν από λιωμένο πυρίτιο. Το σκληρυνόμενο υλικό, πάχους μόνο 100μm, τοποθετείται τότε σε modules. Άλλες εταιρείες έχουν αναπτύξει μεθόδους ψεκασμού των φωτοβολταϊκών υλικών πάνω σε υποστηρικτικό υλικό. Όλες αυτές οι τεχνικές έχουν τη δυνατότητα για μαζική παραγωγή.

Υπάρχουν σκεπτικιστές ωστόσο, που πιστεύουν ότι οι τεχνικές του σήμερα δε θα φτάσουν ποτέ αρκετά χαμηλή τιμή για μαζική χρήση. Κάποιοι αισιόδοξοι βλέπουν τις αναδυόμενες νανοτεχνολογίες ως απάντηση. Επίσης υπάρχουν άτομα που δουλεύουν με οργανικές ενώσεις που απορροφούν το φως και το μετατρέπουν σε ηλεκτρισμό. Αυτοί οραματίζονται την εναπόθεση αυτών των ενώσεων σε ένα υλικό σαν φιλμ, το οποίο θα κοστίζει πολύ λίγο για να παραχθεί, και το οποίο πολύ εύκολα θα κολλιέται στις επιφάνειες των κτιρίων .

2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ-ΘΕΩΡΙΑ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ

2.1 ΤΟ ΑΤΟΜΟ

Όπως γνωρίζουμε η ύλη αποτελείται από πολύ μικρά σωματίδια τα οποία δε μπορούν να διαιρεθούν άλλο με χημικά μέσα (χημικές αντιδράσεις). Τα σωματίδια αυτά ονομάζονται άτομα. Η ύλη λοιπόν, αποτελείται από άτομα που διαφέρουν μεταξύ τους κατά σχήμα και κατά μέγεθος. Ο σχηματισμός των υλικών σωμάτων οφείλεται στις ενώσεις ατόμων με άλλα άτομα. Κάθε άτομο αποτελείται από μια περιοχή, που είναι στο κέντρο του, στην οποία, είναι συγκεντρωμένο όλο το θετικό φορτίο, καθώς και σχεδόν όλη η μάζα του ατόμου. Η περιοχή αυτή ονομάζεται πυρήνας. Ο πυρήνας περιέχει τα στοιχειώδη σωματίδια, πρωτόνιο και νετρόνιο. Το πρωτόνιο έχει θετικό φορτίο ενώ το νετρόνιο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο.



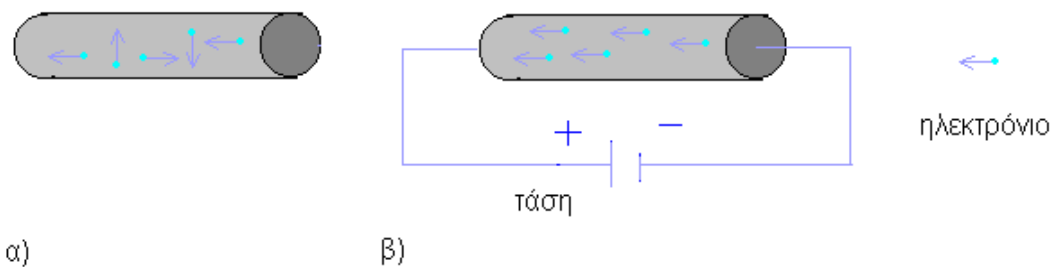
Εικόνα 2.1. Δομή του ατόμου

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Γύρω από το πρωτόνιο υπάρχει μια άλλη περιοχή, ο σφαιρικός φλοιός, μέσα στον οποίο κινούνται τα ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια, σε αντίθεση με τα πρωτόνια, έχουν αρνητικό φορτίο. Στο σφαιρικό φλοιό τα ηλεκτρόνια περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα σε τροχιές που ονομάζονται στιβάδες, οι οποίες έχουν διαφορετική απόσταση από το πυρήνα. Η πιο απομακρυσμένη στιβάδα, από το πυρήνα, ονομάζεται εξωτερική στιβάδα ή στιβάδα σθένους. Η εξωτερική στιβάδα μπορεί να έχει μέχρι 8 ηλεκτρόνια και είναι χαρακτηριστική για τις ιδιότητες που εμφανίζει ένα άτομο. Για να έχει ένα άτομο, σταθερή δομή, θα πρέπει στην εξωτερική στιβάδα να έχει 2 ή 8 ηλεκτρόνια.

2.2 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ

Από το νόμο του Coulomb γνωρίζουμε ότι τα ετερόνυμα φορτία έλκονται ενώ τα ομώνυμα απωθούνται. Επομένως ο θετικός πυρήνας ασκεί ελκτική δύναμη στα ηλεκτρόνια, του ηλεκτρονικού νέφους. Τα ηλεκτρόνια της στιβάδας που απέχουν περισσότερο από το πυρήνα δέχονται τις ασθενέστερες δυνάμεις και ονομάζονται εξωτερικά ηλεκτρόνια. Ανάλογα με το υλικό π.χ. στα μέταλλα είναι δυνατό σε γειτονικά άτομα, ο θετικός πυρήνας, να πλησιάσει τόσο πολύ, ώστε στα εξωτερικά ηλεκτρόνια να ασκούνται ισχυρές δυνάμεις που τα αποσπών από τα άτομα τους και μετατρέπονται σε πραγματικά ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται τυχαία και ακανόνιστα προς όλες τις διευθύνσεις. Αν στα άκρα τους (μέταλλα) συνδέσουμε μια μπαταρία, τότε τα ηλεκτρόνια θα έλκονται από το θετικό πόλο και θα απωθούνται από το αρνητικό πόλο της. Αυτό έχει σαν συνέπεια τα ηλεκτρόνια να κινούνται προς μια κατεύθυνση.



Εικόνα 2.2 .α) τυχαία κίνηση ηλεκτρονίων β) Προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρονίων

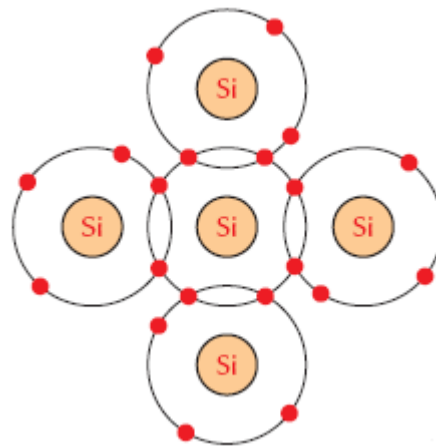
Αυτή η προσανατολισμένη κίνηση των φορτισμένων σωματιδίων (ηλεκτρόνια) ονομάζεται ηλεκτρικό ρεύμα.

2.3 ΑΓΩΓΟΙ-ΜΟΝΩΤΕΣ-ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ

Υπάρχουν υλικά που τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι ελάχιστα όπως το πλαστικό ή το ξύλο. Αντίθετα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι πάρα πολλά στα μέταλλα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τα υλικά, να έχουν διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες. Τα υλικά με βάση τις ηλεκτρικές ιδιότητες που εμφανίζουν, χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες: αγωγούς, μονωτές και ημιαγωγούς. Οι αγωγοί έχουν μικρή ειδική αντίσταση $10^{-8} \Omega m$ και άρα επιτρέπουν τη διέλευση του ρεύματος. Οι μονωτές έχουν μεγάλη ειδική αντίσταση $10^{+11} \Omega m$ και άρα εμποδίζουν τη διέλευση του ρεύματος. Οι ημιαγωγοί συμπεριφέρονται μερικές φορές σαν μονωτές και μερικές φορές σαν αγωγοί, ανάλογα με τις συνθήκες, π.χ. η θερμοκρασία.

2.4 ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ

Οι ημιαγωγοί όπως το γερμάνιο και το πυρίτιο έχουν τέσσερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα. Αυτό δίνει τη δυνατότητα σε κάθε ένα ηλεκτρόνιο της στιβάδας σθένους να σχηματίσει ομοιοπολικό δεσμό με ένα άλλο ηλεκτρόνιο σθένους ενός γειτονικού ατόμου, σχηματίζοντας τέσσερις ομοιοπολικούς δεσμούς. Με αυτό τον τρόπο η εξωτερική στιβάδα αποκτάει οκτώ ηλεκτρόνια και άρα το άτομο έχει σταθερή δομή. Εξαιτίας των σταθερών δεσμών σχηματίζονται κρύσταλλοι όπου όλα τα άτομα βρίσκονται σε συγκεκριμένες θέσεις



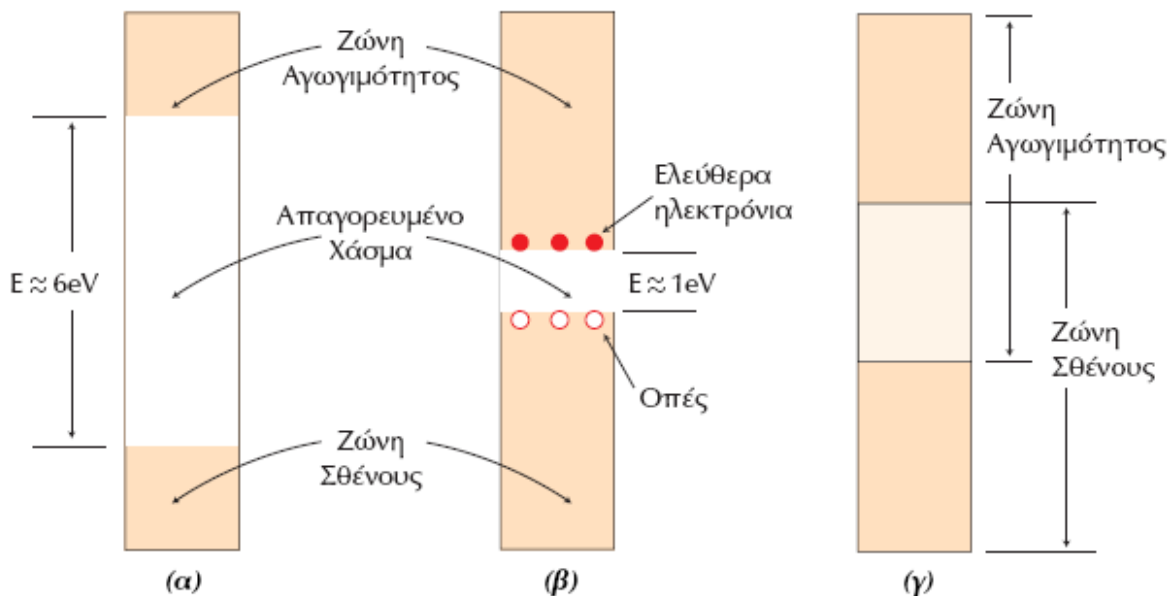
Εικόνα 2.3. Σταθερή δομή στο ημιαγωγό πυρίτιο εξαιτίας των τεσσάρων ομοιοπολικών δεσμών

Στην παραπάνω περίπτωση, τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας δεν μπορούν να απομακρυνθούν και άρα δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια μέσα στο υλικό. Έτσι δεν είναι δυνατή η διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος και επομένως το υλικό συμπεριφέρεται σαν μονωτής. Όμως η συμπεριφορά του πυρίτιο εξαρτάται ισχυρά από τη θερμοκρασία. Στη θερμοκρασία δωματίου κάποια ηλεκτρόνια σθένους απελευθερώνονται και μπορούν να κινηθούν ελεύθερα μέχρι να συναντηθούν με κάποιο άτομο που τους λείπει ένα ηλεκτρόνιο. Η απελευθέρωση ενός ηλεκτρονίου σθένους από ένα άτομο ερμηνεύεται από τη θεωρία των ενεργειακών ζωνών.

2.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΣΤΟΥΣ ΗΜΙΑΓΩΓΟΥΣ

Μέχρι στιγμής έχουμε αναφερθεί στα ηλεκτρόνια σθένους, που βρίσκονται στην στιβάδα σθένους και σχηματίζουν τους δεσμούς αλλά και τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, που μπορούν εύκολα να αποσπαστούν, όταν έχουν την κατάλληλη ενέργεια. Όμως υπάρχουν και τα ηλεκτρόνια που υπάρχουν στις εσωτερικές στιβάδες και ουσιαστικά είναι «ανενεργά». Αν κάνουμε ένα διάγραμμα ενεργείας όλων των ηλεκτρονίων θα έχουμε τις παρακάτω ενεργειακές ζώνες :

- Τις εσωτερικές ενεργειακές ζώνες που αντιστοιχούν στην ενέργεια των ηλεκτρονίων στις εσωτερικές στιβάδες.
- Ζώνη σθένους που αντιστοιχεί στην ενέργεια των ηλεκτρονίων σθένους
- Ζώνη αγωγιμότητας που αντιστοιχεί στην ενέργεια των ελευθέρων ηλεκτρονίων.
- Απαγορευμένη ζώνη ή ενεργειακό χάσμα , που είναι η διαφορά ενέργειας μεταξύ της ζώνης αγωγιμότητας και της ζώνης σθένους.



Εικόνα 2.4. Ζώνη αγωγιμότητας α) σε μονωτή β) σε ημιαγωγό γ) σε αγωγό

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Παρατηρούμε ότι στους μονωτές το απαγορευμένο χάσμα έχει μεγάλη ενέργεια με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια. Στους ημιαγωγούς η ενέργεια τους χάσματος του είναι πολύ μικρή, με αποτέλεσμα να υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια υπό προϋποθέσεις, ενώ στους αγωγούς δεν υπάρχει ενεργειακό χάσμα και υπάρχει περίσσια από ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Ουσιαστικά το ενεργειακό χάσμα εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για την μετατροπή ενός ηλεκτρονίου σθένους σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Όταν στα ηλεκτρόνια ενός ατόμου, προσφερθεί ενέργεια από μια ακτινοβολούμενη δέσμη (φωτόνια), η ενέργεια των φωτονίων θα είναι:

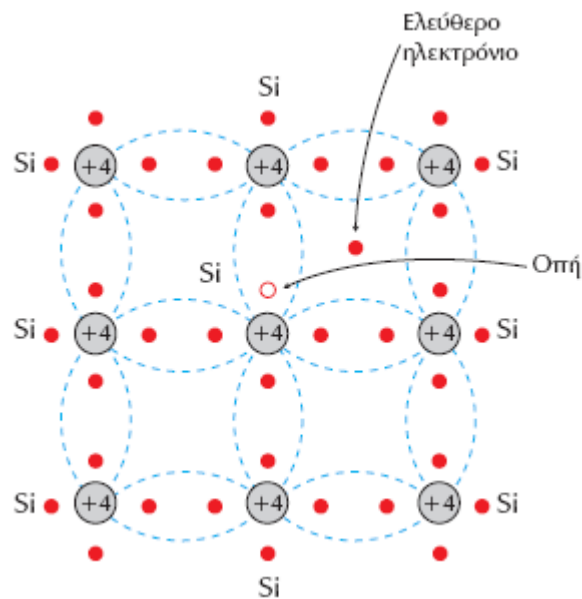
$$E=hn \quad (1)$$

Όπου n είναι η συχνότητα των φωτονίων και h η σταθερά του Plank. Αν το ενεργειακό χάσμα E_g είναι μεγαλύτερο από την ενέργεια των φωτονίων ($E_g > hn$), τότε τα ηλεκτρόνια σθένους παραμένουν στα άτομα. Αν όμως, είναι μικρότερο ($E_g < hn$), τότε τα ηλεκτρόνια σθένους μετατρέπονται σε ελεύθερα ηλεκτρόνια. Η περίσσια ενέργειας μεταφέρεται στα ηλεκτρόνια ως κινητική ενέργεια E_k ,

$$E_k = hn - E_g \quad (2)$$

2.6 ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΠΗΣ

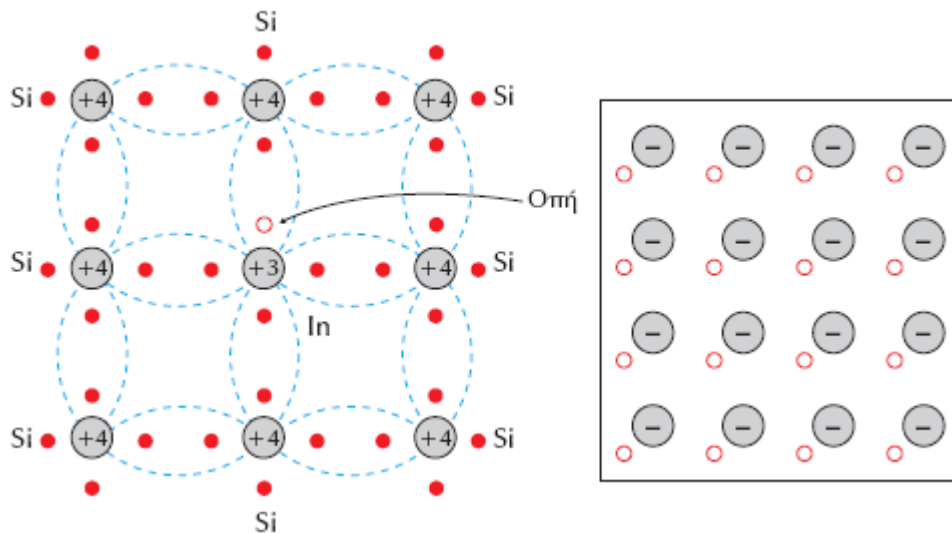
Όταν ένα άτομο χάσει ένα ηλεκτρόνιο, με τον τρόπο που περιγράψαμε προηγουμένως, παύει να είναι ηλεκτρικά ουδέτερο και αποκτάει θετικό φορτίο. Όμως, υπάρχει η πιθανότητα, ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο από γειτονικό άτομο να καλύψει τη θέση του ηλεκτρονίου που έφυγε πριν. Έτσι το γειτονικό άτομο αποκτάει με τη σειρά του θετικό φορτίο. Με αυτό το τρόπο είναι σαν να μετακινείται το θετικό φορτίο, όπως τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Αυτό το ελεύθερο κινούμενο θετικό φορτίο, ονομάζεται οπή .



Εικόνα 2.5. Σχηματισμός οπής σε ημιαγωγό

2.7 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΤΥΠΟΥ N ΚΑΙ P

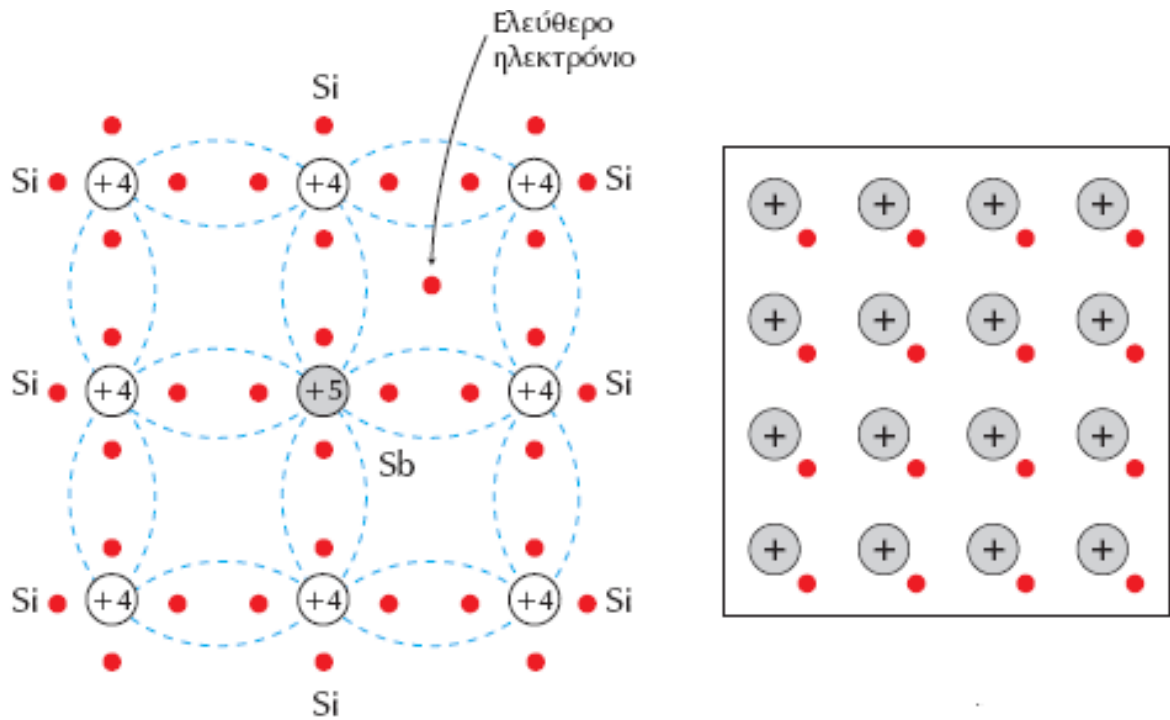
Στους ημιαγωγούς οι συγκεντρώσεις (αριθμός φορτίων ανά κυβικό εκατοστό) των ελεύθερων ηλεκτρονίων και των οπών είναι ίσες. Υπάρχει η δυνατότητα σε ένα ημιαγωγό να βάλουμε μια μικρή ποσότητα ενός στοιχείου που έχει τρία ή πέντε ηλεκτρόνια στην εξωτερική στιβάδα. Έτσι, ο ημιαγωγός έχει στο εσωτερικό του άτομα προσμίξεων. Στην περίπτωση που το άτομο της πρόσμιξης έχει τρία ηλεκτρόνια, τότε η συγκέντρωση των οπών είναι μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση των ελεύθερων ηλεκτρονίων. Σε αυτή τη περίπτωση, λέμε ότι έχουμε ημιαγωγό τύπου P. Για να σχηματιστούν ημιαγωγοί τύπου P οι προσμίξεις έχουν 3 ηλεκτρόνια στη στιβάδα σθένους, όπως το βόριο, γάλλιο και ίνδιο.



Εικόνα 2.6. Δομή ενός ημιαγωγού τύπου P, όπου έχει τοποθετηθεί άτομο ινδίου ως πρόσμιξη

Αν το άτομο της πρόσμιξης έχει πέντε ηλεκτρόνια η συγκέντρωση των ελεύθερων ηλεκτρονίων είναι μεγαλύτερη από τη συγκέντρωση των οπών και λέμε ότι ο ημιαγωγός είναι τύπου N.

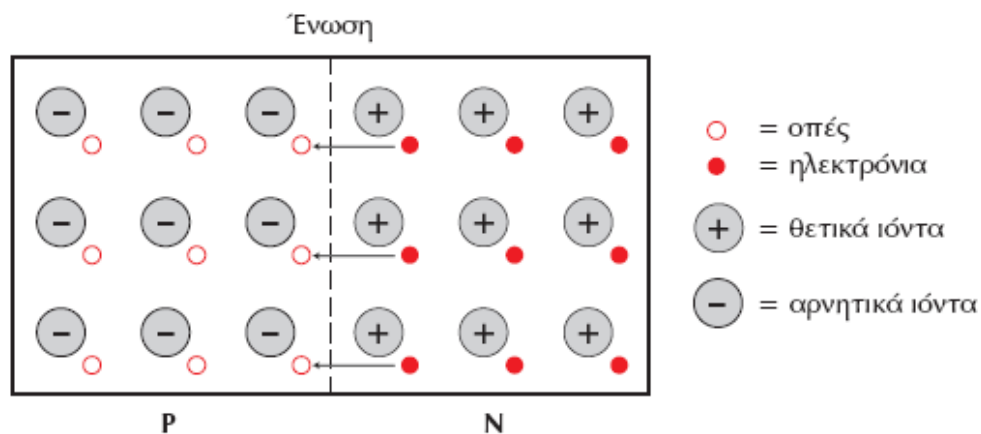
Για να σχηματιστούν οι ημιαγωγοί τύπου N, τοποθετούμε στο πυρίτιο ή γερμάνιο, στοιχεία όπως το αρσενικό, ο φώσφορος και το αντιμόνιο. Αυτά τα στοιχεία έχουν 5 ηλεκτρόνια στη στιβάδα σθένους.



Εικόνα 2.7. Δομή ενός ημιαγωγού τύπου N, όπου έχει τοποθετηθεί άτομο αντιμονίου ως πρόσμιξη

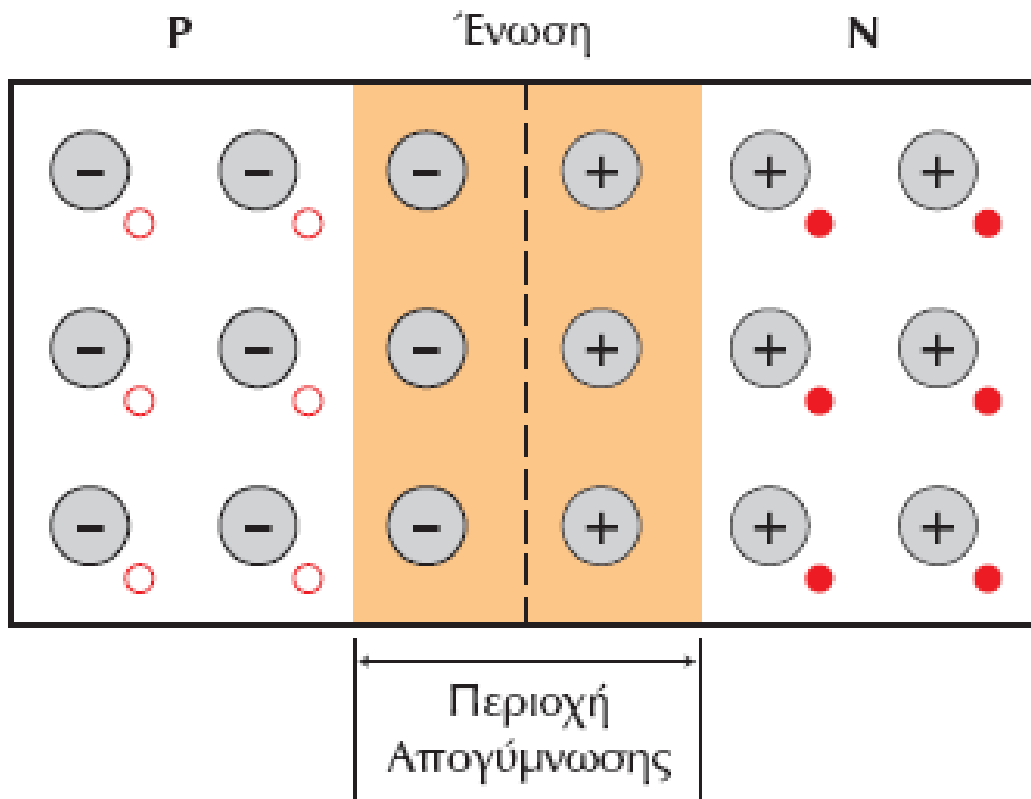
2.8 ΕΠΑΦΗ PN

Η επαφή PN σχηματίζεται, όταν ένα μικρό κομματάκι ημιαγωγού τύπου N, έλθει σε επαφή με ένα κομμάτι τύπου P.



Εικόνα 2.8. Η επαφή PN

Όπως έχουμε αναφέρει, στο τμήμα N του ημιαγωγού υπάρχουν περισσότερα ελεύθερα ηλεκτρόνια από τις οπές, ενώ στο τμήμα P του ημιαγωγού συμβαίνει το αντίθετο. Όταν γίνει η ένωση των δυο ημιαγωγών τα εξωτερικά ηλεκτρόνια που βρίσκονται κοντά στην ένωση θα ενωθούν με τις γειτονικές οπές με αποτέλεσμα η περιοχή κοντά να είναι απογυμνωμένη από ηλεκτρόνια και οπές. Στην περιοχή αυτή υπάρχουν μόνο αρνητικά και θετικά ιόντα. Τα θετικά ιόντα είναι στην περιοχή P ενώ τα αρνητικά ιόντα είναι στη περιοχή N. Η περιοχή αυτή του ημιαγωγού, η οποία δεν έχει καθόλου εξωτερικά ηλεκτρόνια ή οπές ονομάζεται περιοχή απογύμνωσης .



Εικόνα 2.9. Η περιοχή απογύμνωσης στην επαφή PN.

Τα θετικά και αρνητικά ιόντα που αποτελούν την περιοχή απογύμνωσης, δημιουργούν ένα δυναμικό φραγμού που εμποδίζει τα εξωτερικά ηλεκτρόνια και τις οπές να το υπερπηδήσουν, αν δεν έχουν τη κατάλληλη ενέργεια, μέσω κάποιας εξωτερικής τάσης.

2.9 ΡΕΥΜΑ ΔΙΑΧΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΣΤΡΟΦΟ ΡΕΥΜΑ.

Όταν συμβαίνει η κίνηση των οπών προς την περιοχή N και η κίνηση των ηλεκτρονίων προς την περιοχή P λέμε ότι έχουμε ρεύμα διαχύσεως I_f . Βέβαια μέσα στην επαφή PN είναι δυνατό να αναπτυχθούν οπές και ηλεκτρόνια εξαιτίας της θερμικής διάσπασης των ατόμων. Οι φορείς αυτοί όταν βρίσκονται στην περιοχή απογύμνωσης κινούνται με την επίδραση του δυναμικού φραγμού, έτσι ώστε οι οπές να κινούνται προς την περιοχή P και τα ηλεκτρόνια προς την περιοχή N. Το ρεύμα έχει αντίθετη φορά από το ρεύμα διαχύσεως και ονομάζεται ανάστροφο ρεύμα I_o . Στην περίπτωση που βάλουμε μια εξωτερική τάση, ώστε η επαφή P να είναι συνδεδεμένη με το θετικό πόλο της πηγής και η επαφή N με το αρνητικό πόλο της πηγής, λέμε ότι έχουμε πόλωση κατά την ορθή φορά. Οι οπές απωθούνται από το θετικό πόλο της πηγής και τα ηλεκτρόνια από το αρνητικό πόλο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνουν οι οπές στην περιοχή και τα ηλεκτρόνια στην περιοχή N και να στενέψει η περιοχή απογύμνωσης.

Το ρεύμα που κυκλοφορεί στον ημιαγωγό θα είναι:

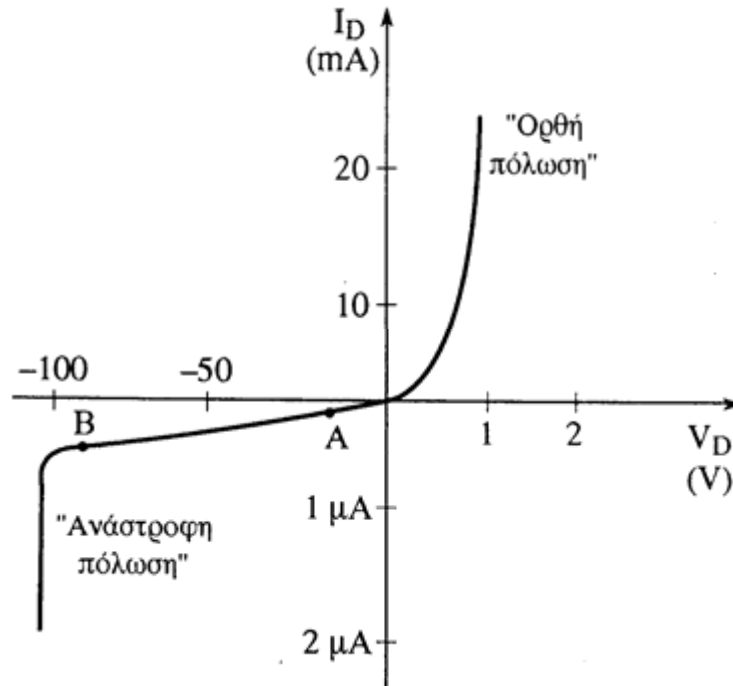
$$I_d = I_f - I_o \quad (3)$$

Στην περίπτωση που η επαφή P συνδέεται με τον αρνητικό πόλο της πηγής έχουμε αναστροφή πόλωση. Σε αυτή τη περίπτωση επειδή οι οπές έλκονται από τον αρνητικό πόλο και τα ηλεκτρόνια από το θετικό πόλο, η περιοχή απογύμνωσης διευρύνεται και το ρεύμα που διαρρέει τον ημιαγωγό ισούται σχεδόν με το ανάστροφο ρεύμα αφού, το ρεύμα διάχυσης I_f είναι σχεδόν μηδέν.

$$I_d = -I_o \quad (4)$$

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Η χαρακτηριστική καμπύλη ενός ημιαγωγού μας δείχνει, πως μεταβάλλεται το ρεύμα σε σχέση με τη τάση.



Εικόνα 2.10. Χαρακτηριστική I-V. Μεταβολή της ρεύματος σε μια επαφή σε σχέση με την τάση πόλωσης.

Στο παραπάνω σχήμα, ορθή πόλωση έχουμε για θετική τάση και αναστροφή πόλωση για αρνητική τάση. Παρατηρούμε ότι στη ορθή πόλωση το ρεύμα αυξάνει εκθετικά με τη τάση .

2.10 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΕΙ ΤΟ ΦΩΤΟΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Προηγουμένως, αναφερθήκαμε στην ενέργεια των ηλεκτρονίων θεωρώντας ότι αυτή είναι $E = h\nu$. Τα ηλεκτρόνια είναι δυνατόν, απορροφώντας την ενέργεια των φωτονίων, να αποκτήσουν την ενέργεια που χρειάζεται για να εγκαταλείψουν το άτομο στο οποίο ανήκουν, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ζεύγος σπής ηλεκτρονίου. Το φαινόμενο αυτό, είναι γνωστό ως φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Η κινητική ενέργεια που θα έχει το ηλεκτρόνιο όταν απορροφήσει ενέργεια $h\nu$ θα είναι:

$$\frac{1}{2} m u^2 = h\nu - E_g \quad (5)$$

όπου $\frac{1}{2} m u^2$ η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων, E_g το έργο εξόδου του ηλεκτρονίου. Η ενέργεια αυτή ισούται με το ενεργειακό χάσμα, δηλαδή την ενέργεια που χρειάζεται ένα ηλεκτρόνιο για να διαφύγει από το άτομο. Η ελάχιστη ενέργεια που πρέπει να έχει ένα φωτόνιο για να δημιουργήσει ζεύγος ηλεκτρονίου σπής είναι τουλάχιστον ίση με το έργο εξόδου του ηλεκτρονίου, άρα η οριακή συχνότητα της ακτινοβολίας για την εξαγωγή του ηλεκτρονίου ν είναι:

$$h\nu \geq E_g \text{ οπότε } \nu \geq \frac{E_g}{h} \quad (6)$$

Μπορούμε να υπολογίσουμε το μήκος κύματος που αντιστοιχεί σε αυτή τη συχνότητα, λαμβάνοντας υπόψη την θεμελιώδη κυματική εξίσωση.

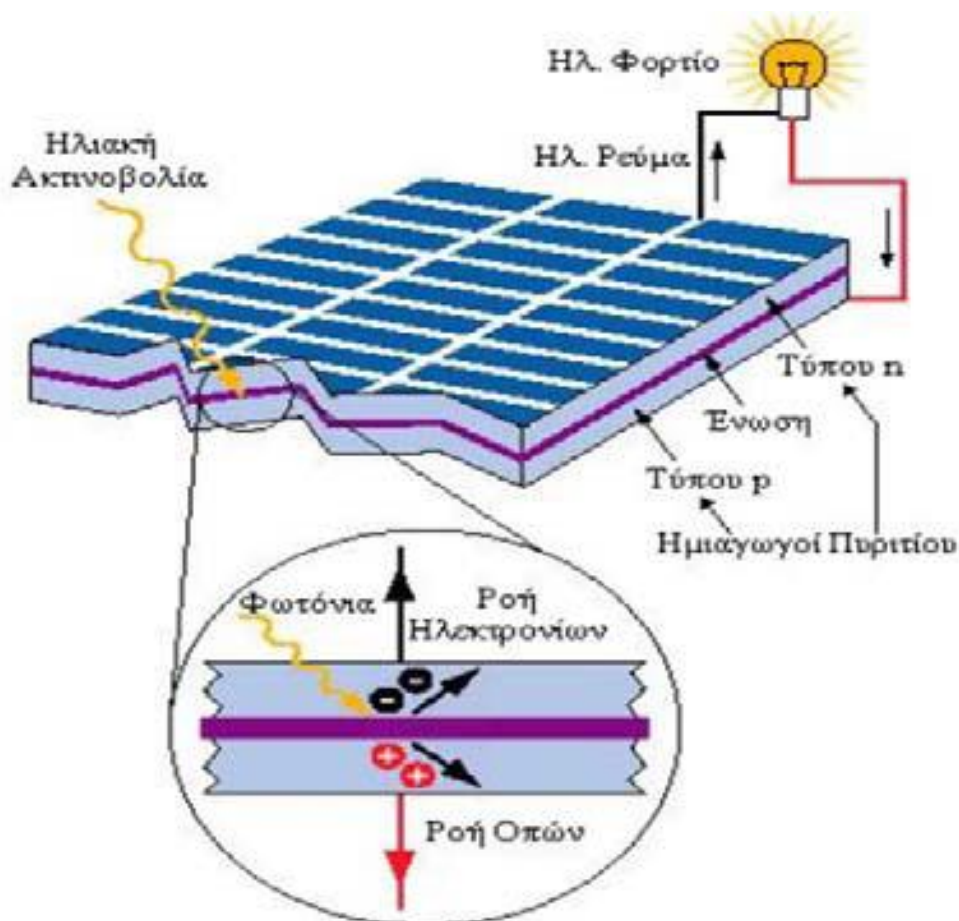
$$c = \lambda\nu \quad (7)$$

όπου c η ταχύτητα του φωτός στο κενό και λ το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Συνδυάζοντας της δυο παραπάνω εξισώσεις προκύπτει ότι στη οριακή συχνότητα αυτή, αντιστοιχεί σε ακτινοβολία με μήκος κύματος λ_{op}

$$\lambda_{op} = \frac{c}{\nu_{op}} \Rightarrow \lambda_{op} = \frac{ch}{(E_g)} \quad (8)$$

2.11 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι το φαινόμενο, όπου η ηλιακή ενέργεια μετατρέπεται απευθείας σε ηλεκτρική. Δηλαδή η ενέργεια των φωτονίων, όταν αυτά πέσουν σε μια κατάλληλη επαφή PN, μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Στις επαφές αυτές δημιουργούνται ζεύγη ηλεκτρονίων οπών. Τα ζεύγη ηλεκτρονίων οπών οφείλονται στη θερμική διάσπαση των ατόμων, που προκαλείται από το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο .



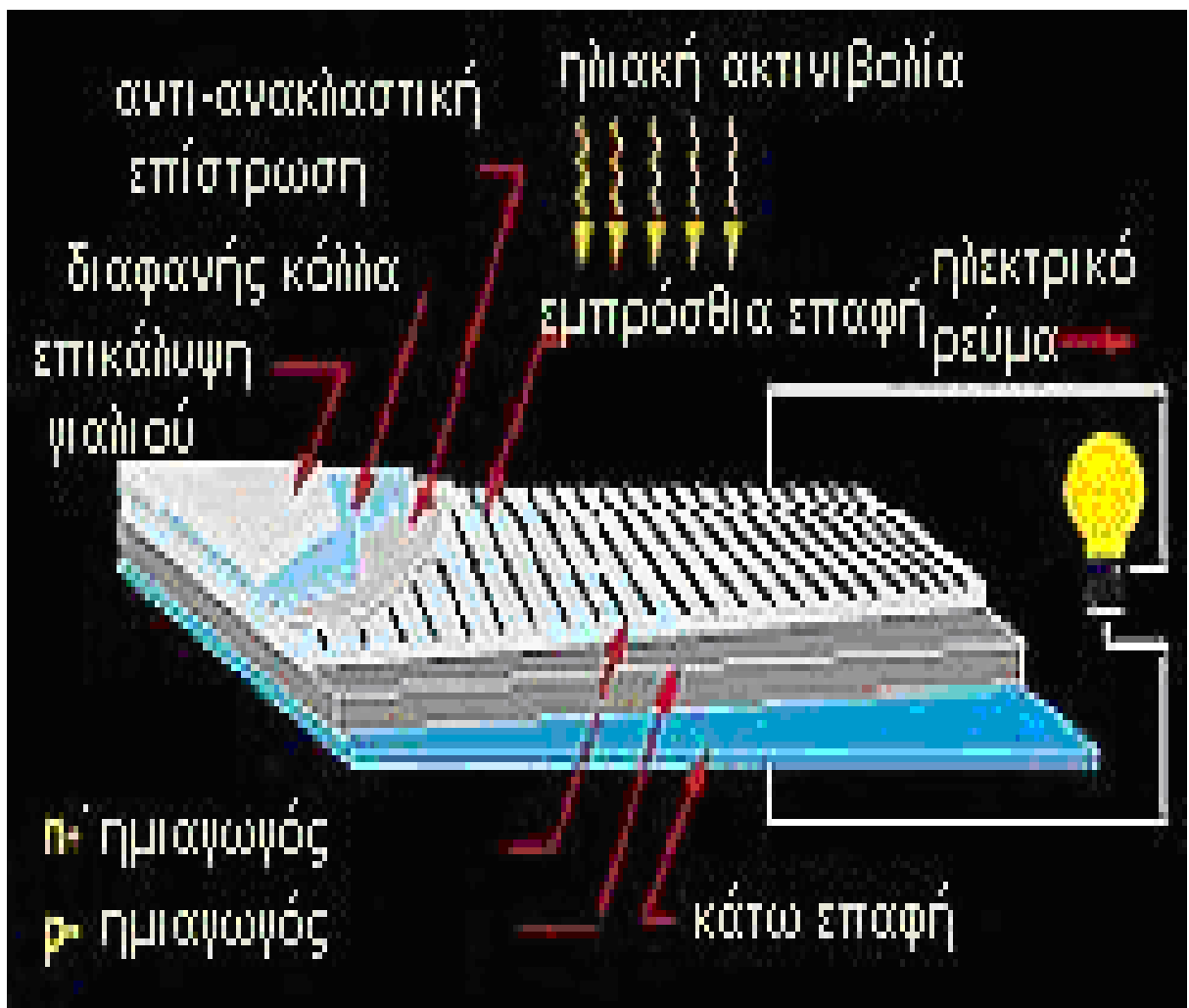
Εικόνα 2.11. Το Φωτοβολταϊκό φαινόμενο

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Ο ρυθμός δημιουργίας των παραπάνω ζευγών αυξάνει, αν προσφέρουμε μια κατάλληλη ακτινοβολία, που το ελάχιστο μήκος κύματος καθορίζεται από τη σχέση (8) και εξαρτάται από το ενεργειακό χάσμα του ημιαγωγού (επαφή PN). Τα ζεύγη ηλεκτρονίων οπών που δημιουργούνται βρίσκονται μέσα στην περιοχή απογύμνωσης και κινούνται με την επίδραση του πεδίου που δημιουργείται από τα ιόντα της περιοχής απογύμνωσης. Οι μεν οπές έλκονται από το θετικό υπόστρωμα P ενώ τα ηλεκτρόνια από το υπόστρωμα N με αποτέλεσμα να αυξήσουν το ανάστροφο ρεύμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να εμφανίζεται μια τάση στους ακροδέκτες του ηλιακού στοιχείου. Η τάση αυτή, είναι ίση με την φωτοβολταϊκή τάση. Εάν κατασκευαστεί ένα κύκλωμα όπως αυτό της παραπάνω εικόνας, τότε θα παραχθεί ηλεκτρική ισχύς, αφού τα ηλεκτρόνια θα πρέπει να διέλθουν από το φορτίο για να συνδεθούν με τις οπές.

2.12 Η ΗΛΙΑΚΗ ΚΥΨΕΛΗ

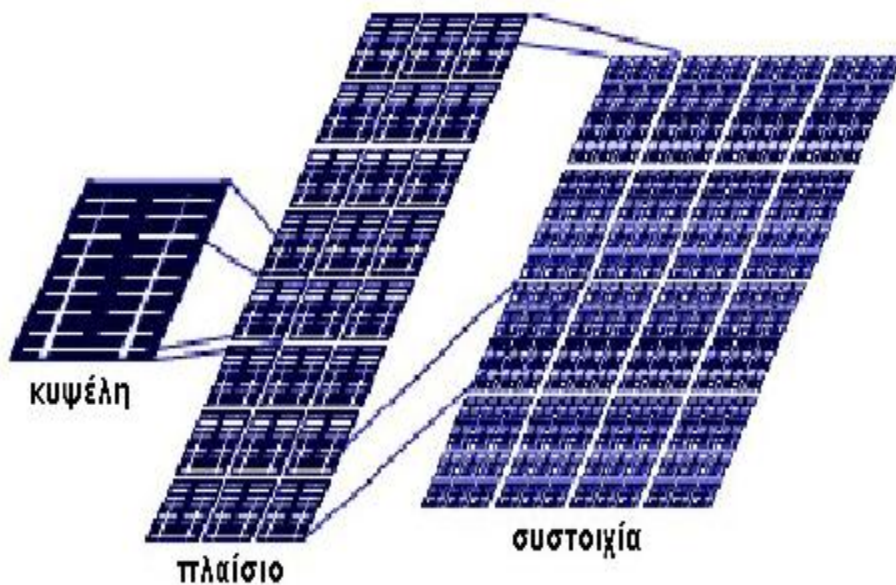
Η ηλιακή κυψέλη είναι η συσκευή στην οποία συντελείται το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, κατά το οποίο, το φως προσπίπτοντας σε μια επαφή PN, παράγει μια φωτοτάση ή μια διαφορά δυναμικού μεταξύ το δυο στρωμάτων της επαφής. Αυτή η τάση είναι ικανή να οδηγήσει ένα ρεύμα μέσω ενός εξωτερικού κυκλώματος, παράγοντας με αυτό το τρόπο ωφέλιμο έργο. Μια τυπική κυψέλη μονοκρυσταλικού πυριτίου έχει βαθύ μπλε χρώμα και ζυγίζει λιγότερο από 10 γρ. Μια μεμονωμένη κυψέλη μπορεί να παράγει 0.5 V, υπό βέλτιστες συνθήκες.



Εικόνα 2.12. Δομή της ηλιακής κυψέλης

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Η ηλιακή κυψέλη αποτελείται από μια επαφή PN που το πάχος της δεν ξεπερνάει τα 0.5mm. Στην εμπρός και πίσω όψη της επαφής υπάρχουν τα ηλεκτρόδια. Το ηλεκτρόδιο της εμπρός όψης της κυψέλης αποτελείται από ένα αραιό μεταλλικό δικτυωτό πλέγμα σε σχήμα σχάρας, ώστε να αφήνει το φως να περάσει ελεύθερα, σε αντίθεση με το πίσω ηλεκτρόδιο, που δεν υπάρχει πρόβλημα κάλυψης και είναι συνήθως ένα φύλλο αλουμινίου σε όλο το πλάτος της κυψέλης. Επιπλέον στο εμπρός ηλεκτρόδιο, έχει γίνει κάλυψη με ανακλαστικό επίστρωμα για μείωση της ανάκλασης του φωτός. Το στρώμα αυτό είναι ένα από τα κατάλληλα αντανακλαστικά υλικά όπως SiO, TiO₂, Al₂O₃. Επίσης είναι απαραίτητη η τοποθέτηση ενός υλικού για περιμετρική στεγανοποίηση της κυψέλης. Αυτό γίνεται για προστασία από την υγρασία, και μόνωση των ηλεκτρικών συνδέσεων. Για αυτό τα συναρμολογημένα στοιχεία καλύπτονται από ένα γυαλί, που επικολλάται με τη βοήθεια ενός φύλλου και στεγανοποιείται με μια περιμετρική ταινία στο σύνολο του. Συνήθως οι κυψέλες ομαδοποιούνται σε πλαίσια και τα πλαίσια συναθροίζονται και διαμορφώνουν τη Φ/Β συστοιχία όπως φαίνεται στη παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.13. Η κυψέλη, το πλαίσιο και μια Φ/Β συστοιχία

3. ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Οι κύριες διαθέσιμες τεχνολογίες Φ/Β είναι αυτές που χρησιμοποιούν το κρυσταλλικό πυρίτιο και τα νέα υλικά λεπτών υμενίων (διάταξη ημιαγωγών λεπτών στρωμάτων – Thin films).

3.1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΥΡΙΤΙΟΥ (Si)

Το υλικό που χρησιμοποιείται περισσότερο για να κατασκευαστούν φωτοβολταϊκα στοιχεία στην βιομηχανία είναι το πυρίτιο. Είναι ίσως και το μοναδικό υλικό που παράγεται με τόσο μαζικό τρόπο. Το πυρίτιο σήμερα αποτελεί την πρώτη ύλη για το 90% της αγοράς των φωτοβολταϊκών.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι:

- Μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στην φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στον πλανήτη μετά το οξυγόνο. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) (ή κοινώς η άμμος) και ο χαλαζίτης αποτελούν το 28% του φλοιού της γης. Είναι ιδιαίτερα φιλικό προς το περιβάλλον.
- Μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί. Επίσης είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή.
- Οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και στους 125°C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτός είναι και ο λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου αντεπεξέρχονται σε ένα ιδιαίτερα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.

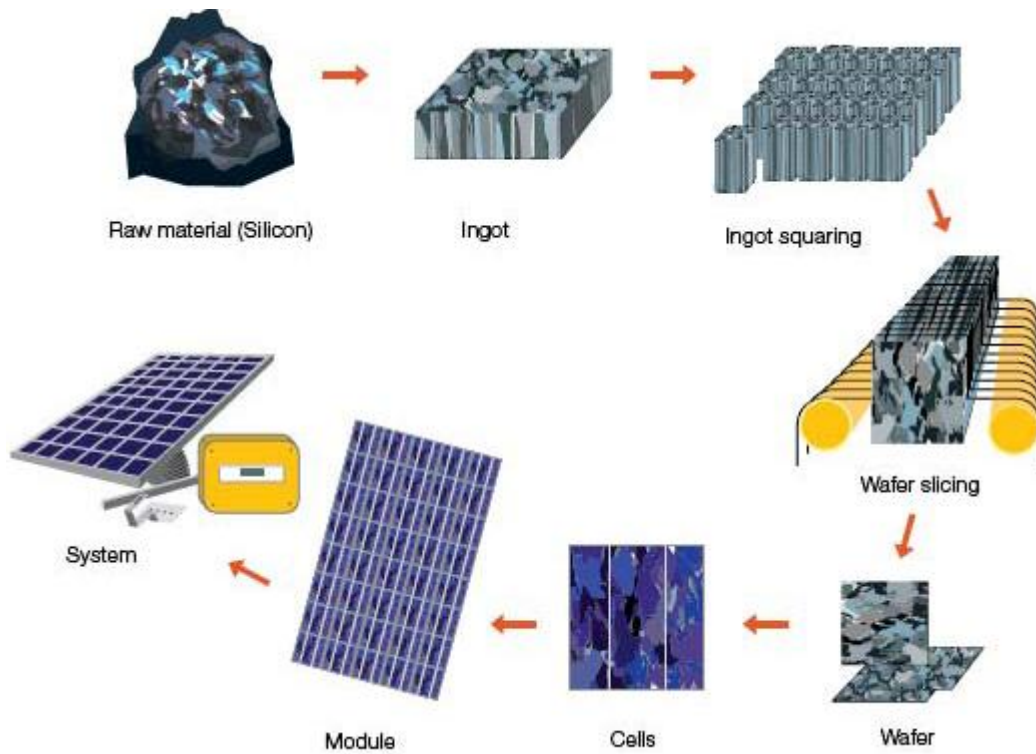
Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη τα φωτοβολταϊκά στοιχεία τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία, στην βιομηχανία της επεξεργασίας του πυριτίου, στον τομέα της ηλεκτρονικής (υπολογιστές, τηλεοράσεις κλπ). Το 2007 μάλιστα ήταν η πρώτη χρονιά που υπήρχε μεγαλύτερη ζήτηση (σε τόνους κρυσταλλικού πυριτίου) στην αγορά των φωτοβολταϊκών στοιχείων σε σχέση με αυτήν των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής.

3.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Η ηλιακή κυψέλη , εγκλείεται με θερμική διεργασία μέσα σε διαφανή ερμητικά σφραγισμένη πολυμερή μεμβράνη και στην εμπρός πλευρά προσαρμόζεται ανθεκτικό γυαλί ειδικών προδιαγραφών. Το πάχος της όλης κατασκευής μαζί με το γυαλί, δεν ξεπερνά τα 5 χιλιοστά και συνήθως τοποθετείται σε πλαίσιο αλουμινίου για εύκολη τοποθέτηση και για να αποκτήσει μηχανική αντοχή.

Η διαδικασία παραγωγής του κρυσταλλικού πυριτίου έχει πολλά και ενεργοβόρα βήματα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο κύκλος παραγωγής ενός Φ/Β συστήματος . Η πρώτη ύλη που είναι το πυρίτιο που πρέπει να είναι υψηλής καθαρότητας και προέρχεται, κυρίως, από τα υπολείμματα της βιομηχανίας ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Η πρώτη ύλη μετατρέπεται με θερμική διεργασία του πυριτίου σε μονοκρυσταλλικούς κυλίνδρους ή πολυκρυσταλλικές χελώνες. Ακολουθεί η διαδικασία κοπής των μονοκρυσταλλικών κυλίνδρων και των πολυκρυσταλλικών χελωνών σε λεπτά δισκία (φέτες) πυριτίου. Στη συνέχεια γίνεται η μετατροπή των δισκίων πυριτίου σε ηλιακά στοιχεία κατάλληλα για να παράγουν ενέργεια. Τέλος, έχουμε τη συναρμολόγηση των φωτοβολταϊκών συστημάτων από τα ηλιακά στοιχεία .

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών



Εικόνα 3.1. Συνοπτικά η διαδικασία παραγωγής ενός Φ/Β συστήματος

Όσο αφορά τη τεχνολογία κρυσταλλικού πυριτίου, οι κυψέλες που κατασκευάζονται από μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, έχουν απόδοση που κυμαίνεται μεταξύ 12 και 17%. Ενώ το μερίδιο αγοράς αυτής της τεχνολογίας είναι 90%. Τα βασικά είδη της τεχνολογίας κρυσταλλικού πυριτίου είναι:

- Μονοκρυσταλλικό (sc-Si)
- Πολυκρυσταλλικό (mc-Si)
- Ταινίας πυριτίου (Ribbon sheets c-Si)



Εικόνα 3.2.. Η τεχνολογία κρυσταλλικού πυριτίου

3.3 Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΛΕΠΤΟΥ ΥΜΕΝΙΟΥ

Η διαδικασία παραγωγής των φωτοβολταϊκών από λεπτά υμένια χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη δυνατότητα αυτοματισμού της παραγωγής και οικονομία πρώτων υλών, λόγω του μικρού πάχους των ενεργών υλικών. Ομοίως τα ηλιακά στοιχεία λεπτών υμενίων εγκλείονται σε ερμητικά σφραγισμένη συσκευασία για προστασία από την υγρασία. Βασική διαφορά αποτελεί το γεγονός ότι η επίστρωση των υλικών γίνεται καταρχήν σε ολόκληρη την επιφάνεια της ηλιακής πλάκας (συνήθως σε κατάλληλα προετοιμασμένη γυάλινη επιφάνεια) και κατόπιν με ακτίνες λέιζερ, αφαιρούνται λεπτές λωρίδες υλικού και δημιουργούνται τα ηλιακά στοιχεία που ύστερα συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους και συνθέτουν την Φ/Β γεννήτρια .



Εικόνα 3.3 Η τεχνολογία λεπτού υμένιου

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Τα στοιχεία από λεπτά υμένια οδηγούνται σε πρόσμιξη με πολύ λεπτά στρωματά φωτοευαίσθητων υλικών, τα οποία είναι πολύ φθηνά όπως το γυαλί, το πλαστικό. Η βιομηχανική απόδοση τους είναι πολύ μικρότερη από αυτή του κρυσταλλικού πυριτίου, κυμαίνεται μεταξύ 6 και 11%. Τα είδη λεπτού φιλμ ανάλογα με το υλικό κατασκευής είναι:

- άμορφο πυριτίο (a-Si)
- τελουριούχο κάδμιο (CdTe).
- Δισελινιούχο Ινδικό χαλκό με διάφορες προσμίξεις (CIS, CIGS)
- Θειούχο κάδμιο (CdS)
- Αρσενιούχο γάλλιο (GaAs)

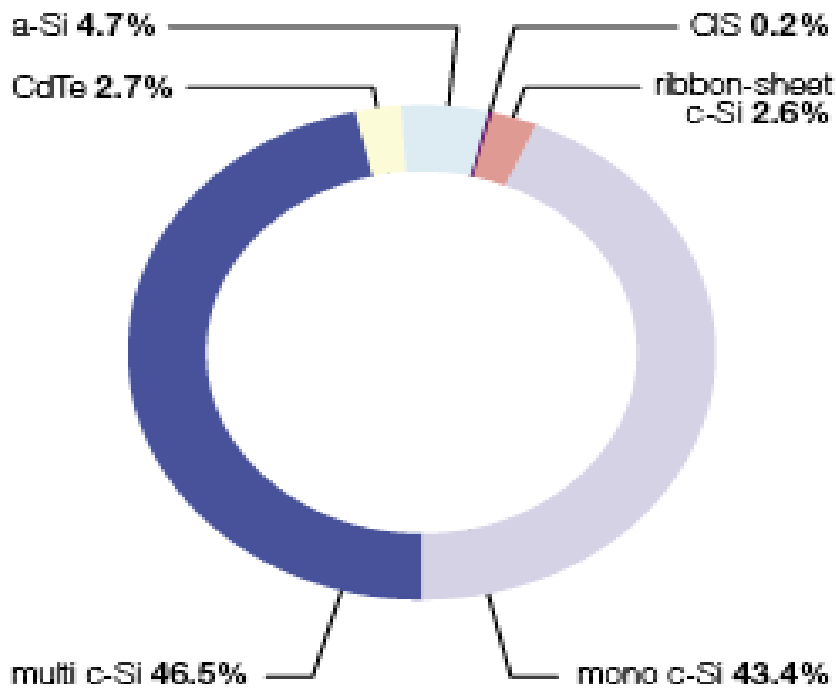
3.4.ΕΙΔΗ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται τα μερίδια της τεχνολογίας των ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των Φ/Β κυψελών. Αβίαστα προκύπτει το συμπέρασμα ότι το στοιχείο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή Φ/Β στοιχείων ευρείας κατανάλωσης είναι το πυρίτιο σε όλες τις μορφές του, κρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό, και άμορφο. Η ευρεία χρήση του πυριτίου οφείλεται σε δυο κύριους λόγους:

A) Είναι το κύριο υλικό των διατάξεων ηλεκτρονικής με αποτέλεσμα, οι ιδιότητες του να έχουν μελετηθεί καλά τα τελευταία 40 χρόνια.

B) Παρουσιάζει μεγάλη αξιοπιστία σε ακραίες συνθήκες. Για παράδειγμα τα Φ/Β συστήματα σε διαστημόπλοιο με τροχιά προς το Δία, λειτούργησαν ικανοποιητικά με συνθήκες 50 W/m² και θερμοκρασία -120 C⁰. Σε ένα άλλο, επίγειο, παράδειγμα, τα Φ/Β πλαίσια έδειξαν να αντέχουν στις κορυφές των βουνών και με ταχύτητα ανέμων πάνω από 100Km/h ή κοντά σε ένα διαβρωτικό περιβάλλον, όπως της θάλασσας. Η θεωρητική απόδοση του πυριτίου μπορεί να φτάσει το 23.92%.

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών



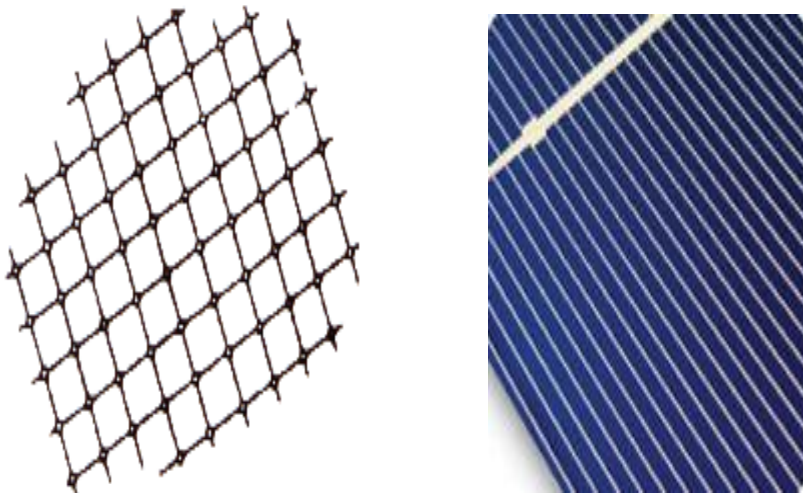
Εικόνα 3.4 . Μερίδια της τεχνολογίας κυψελών το 2006

Τα Φ/Β στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου αποτελούν περίπου το 90% της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β γεννητριών . Το υπόλοιπο της αγοράς καλύπτεται από τεχνολογίες Φ/Β λεπτών υμενίων , όπως το άμορφο πυρίτιο, το Τελουριούχο κάδμιο και ο δισελινιούχο Ινδικό χαλκό.

3.4.1 ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΠΥΡΙΤΙΟ

Το Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο χαρακτηρίζεται από τις μεγαλύτερες αποδόσεις. Η απόδοση στη βιομηχανία φτάνει το 17%. Βέβαια έχει το μειονέκτημα ότι είναι πιο ακριβό στη κατασκευή του.

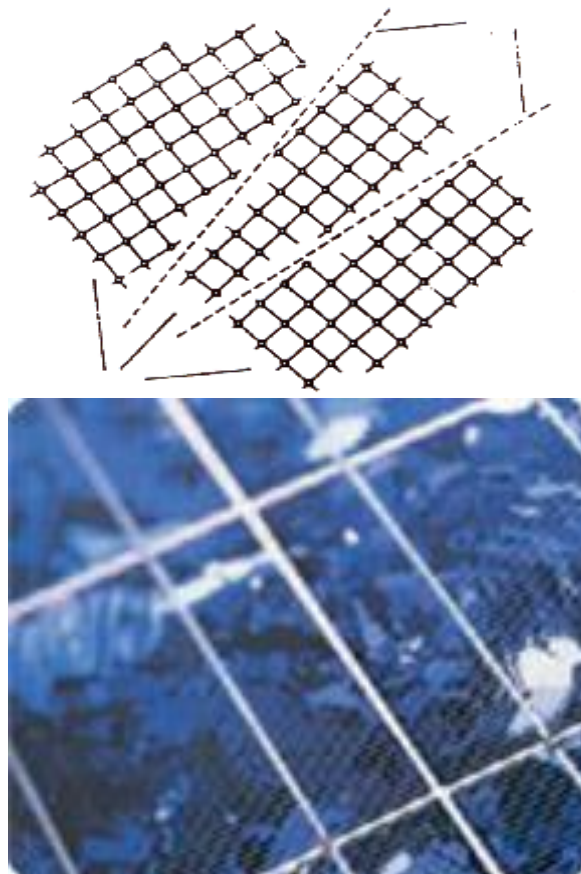
Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις αναφέρονται στις προσπάθειες που γίνονται για τη μείωση της ανακλαστικότητας σε επίπεδα μικρότερα του 10% που ισχύει σήμερα. Το σύνηθες αντανακλαστικό υλικό που χρησιμοποιείται στην επιφάνεια ενός Φ/Β στοιχείου είναι το TiO_2 .



Εικόνα 3.5. α) Δομή Κρυσταλλικού πυριτίου- β) κυψέλη κρυσταλλικού πυριτίου

3.4.2 ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΠΥΡΙΤΙΟ

Στο πολυκρυσταλλικό πυρίτιο σε αντίθεση με το μονοκρυσταλλικό ή κρυσταλλική δομή παίρνει διαφορετικό προσανατολισμό σε διάφορες περιοχές του στερεού. Αυτές οι επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές μπορούν να γίνουν αντιληπτές και με γυμνό μάτι. Όσο μεγαλύτερες σε έκταση είναι οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση του. Στο εργαστήριο η απόδοση έχει φτάσει και το 20%.



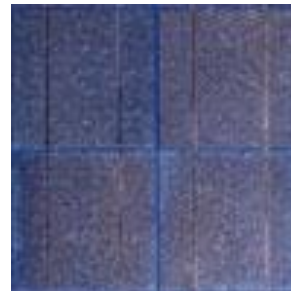
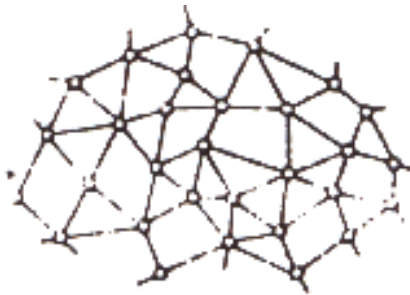
Εικόνα 3.6. α) Δομή πολυκρυσταλλικού πυριτίου β) κυψέλη πολυκρυσταλλικού πυριτίου

3.4.3 ΤΑΙΝΙΑ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Είναι μια νέα τεχνολογία που προσφέρει ως και 50% μείωση στη χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών κυψελών πυριτίου. Η απόδοση κυμαίνεται μεταξύ 12 και 13% ενώ στο εργαστήριο φτάνει το 18% με προσθήκη ατόμων υδρογόνου.

3.4.4 ΑΜΟΡΦΟ ΠΥΡΙΤΙΟ

Στο άμορφο πυρίτιο τα άτομα παίρνουν εντελώς αυτόνομη μορφή, αφού καταλαμβάνουν τυχαίες θέσεις και δομή.



Εικόνα 3.7. α) Δομή άμορφου πυριτίου- β) κυψέλη άμορφου πυριτίου

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Το άμορφο πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός που διαφέρει ουσιαστικά από το κρυσταλλικό πυρίτιο. Συμβολίζεται με $a\text{-Si}$ και το ενεργειακό διάκενο κυμαίνεται από 1.2 ως 1.6 eV. Μια βελτίωση στις ιδιότητες του άμορφου πυριτίου έχουμε όταν γίνει προσθήκη ατόμων υδρογόνου στο τέλος των ατελών δεσμών. Σε αυτήν τη περίπτωση στο άμορφο πυρίτιο προστίθεται 10%- 40% υδρογόνο. Η απόδοση του υδρογονούχου πυριτίου μπορεί να φτάσει και το 15%. Η βιομηχανική απόδοση του είναι 7%.

3.4.5 ΘΕΙΟΥΧΟ ΚΑΔΜΙΟ

Εκτός από το πυρίτιο, ένα άλλο υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι το θειούχο κάδμιο CdS. Η λειτουργία του φωτοβολταϊκού σε αυτή τη περίπτωση οφείλεται στην ετεροένωση μεταξύ του στρώματος του CdS και του χαλκού Cu. Ουσιαστικά δημιουργείται ένα στρώμα από Cu_2S που είναι ένας ημιαγωγός με ενεργειακό διάκενο 1.2 eV. Τα ηλιακά στοιχεία του θειούχου καδμίου έχουν σχετικά καλή απόδοση, περίπου 10%, αλλά υπάρχουν επιφυλάξεις ως προς τη διάρκεια ζωής που είναι μικρότερη από του πυριτίου και επηρεάζεται εύκολα από την υγρασία.

3.4.6 ΑΡΣΕΝΙΟΥΧΟ ΓΑΛΛΙΟ

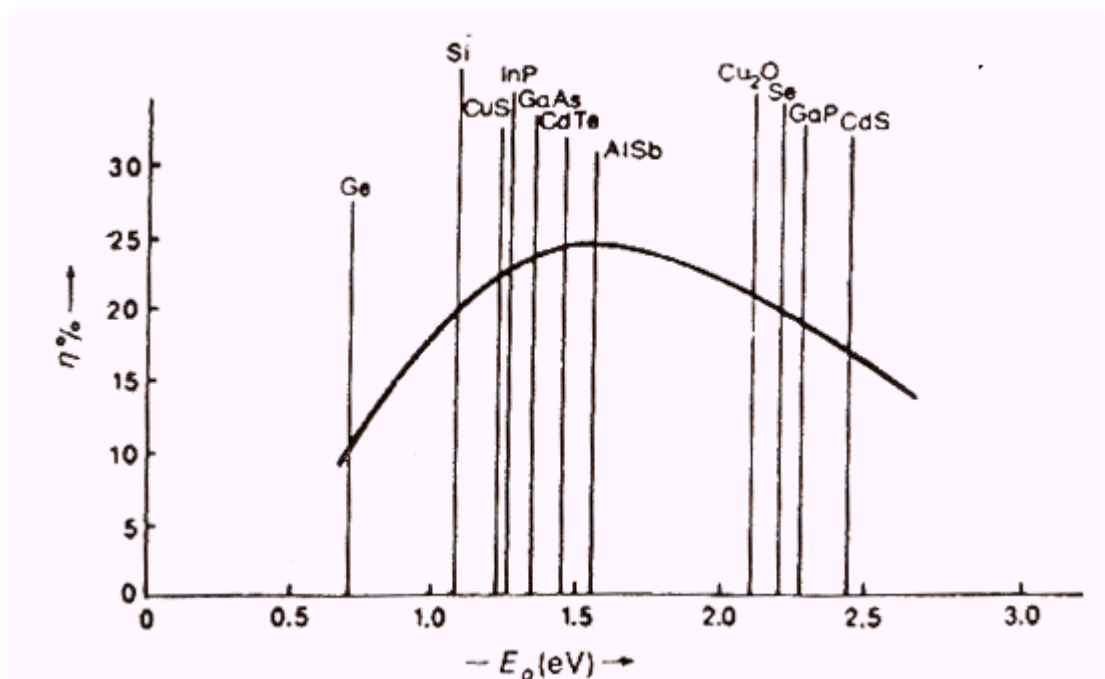
Ένα άλλο υλικό που χρησιμοποιείται είναι το αρσενιούχο γάλλιο GaAs με ενεργειακό διάκενο 1.43 eV και θεωρητική απόδοση περίπου 25%. Το υλικό αυτό έχει το πλεονέκτημα να αντέχει στις υψηλές θερμοκρασίες. Έχει βρεθεί ότι η απόδοση του GaAs πέφτει στο μισό, όταν η θερμοκρασία φθάσει στους 200o C, στο πυρίτιο Si στους 120o C, ενώ στο CdS στους 80o C..

3.4.7 ΤΕΛΟΥΡΙΟΥΧΟ ΚΑΔΜΙΟ

Είναι ένα υλικό που η βιομηχανική του απόδοση είναι μεταξύ του 8 και 10%. Η καλύτερη απόδοση οφείλεται στη καλή απορρόφηση που παρουσιάζει στο ηλιακό φως. Τείνει όμως να καταργηθεί γιατί συμφωνά με έρευνες παρουσιάζει καρκινογόνα αποτελέσματα.

3.5 ΑΠΟΔΟΣΗ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ

Η απόδοση των διάφορων ημιαγωγών σε σχέση με το ενεργειακό διάκενο παρουσιάζεται παρακάτω.



Εικόνα 3.8. Θεωρητική απόδοση των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων σε συνάρτηση με το ενεργειακό διάκενο .

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Από το σχήμα βλέπουμε ότι την μεγαλύτερη θεωρητική απόδοση την έχουν υλικά με ενεργειακό χάσμα γύρω στα 1.5 eV. Παρόλο που άλλα υλικά παρουσιάζουν μεγαλύτερη απόδοση από το πυρίτιο, αυτό υπερισχύει, αφού για την επιλογή ενός υλικού πρέπει να λάβουμε υπόψη, το κόστος παραγωγής, τη σταθερότητα στις εξωτερικές συνθήκες, όπως υγρασία, θερμοκρασία, το ειδικό βάρος και άλλα.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η απόδοση των φωτοβολταϊκών συστημάτων που υπάρχουν διαθέσιμα στη αγορά .

Εκτίμηση της απόδοσης φωτοβολταϊκού με τη χρήση συστήματος παρακολούθησης του ηλίου και αξιολόγησή του.

Technology	Thin Film				Crystalline wafer based	
	Amorphous Silicon(a-si)	Cadmium Telluride(CdTe)	CIS	a-Si/mSi	Mono-crystalline	Multi-crystalline
Cell Efficiency at STC*	6-7%	8-10%	10-11%	8%	16-17%	14-15%
Module Efficiency					13-15%	12-14%
Area needed per kWp** (for modules)	15m ²	11 m ²	10 m ²	12 m ²	app. 7 m ²	app. 8 m ²
*Standard Testing Conditions <25° C , light intensity of 1.000W/ m ² , air mass=1,5 **kWp = kilowatt “peak”. Solar PV products and arrays are rated by the power they generate at Standard Testing Conditions						

Εικόνα 3.9. Απόδοση κυψέλης σε σχέση με την τεχνολογία και το υλικό κατασκευής της

4. ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

Σήμερα, στα περισσότερα φωτοβολταϊκά στοιχεία του εμπορίου χρησιμοποιούνται ως φωτοενεργό μέσο κρύσταλλοι πυριτίου (Si). Οι κρύσταλλοι πυριτίου όμως απαιτούν πολλαπλά βήματα ενεργοβόρας εντατικής επεξεργασίας σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, οδηγώντας τις σχετικές διατάξεις σε ιδιαίτερα μεγάλο κόστος κατασκευής άρα και ιδιαίτερα μεγάλο χρόνο οικονομικής απόσβεσης. Παρόλο τον τετραπλασιασμό των πωλήσεων φωτοβολταϊκών τα τελευταία 5 χρόνια, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τα συμβατικά φωτοβολταϊκά αντιστοιχεί μόνο στο 0.04% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας. Η επιτάχυνση της διείδυσης της ηλιακής ενέργειας στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί το σχεδιασμό και την ανάπτυξη νέων υλικών τα οποία θα συνδυάζουν χαμηλό κόστος με ικανοποιητική απόδοση.

Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί μια έκρηξη ενδιαφέροντος για την ανάπτυξη υβριδικών διατάξεων (συνδυασμός ανόργανων και οργανικών υλικών), όπως για παράδειγμα σύνθετες δομές αποτελούμενες από αγώγιμα πολυμερή και νανοσωματίδια. Αυτό οφείλεται αφενός στη ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας υλικών, η οποία σε συνέργια με τη νανοτεχνολογία επιτρέπει την ανάπτυξη υλικών με ελεγχόμενες ιδιότητες και αφετέρου στην πολύπλευρη χρησιμότητα των υλικών αυτών καθώς χρησιμοποιούνται όχι μόνο σε ενεργειακές εφαρμογές αλλά και σε ήδη εμπορικές διατάξεις εκπομπής φωτός. Η ενσωμάτωση των υβριδικών υλικών σε οργανικές (ή απλά πλαστικές) φωτοβολταϊκές διατάξεις φαίνεται να αποτελεί μία ιδιαίτερα υποσχόμενη προσέγγιση, λόγω των πλεονεκτημάτων που εμφανίζει η τεχνολογία. Πλεονεκτήματα που αξίζει να επισημανθούν είναι το χαμηλό κόστος, η απλή διαδικασία παρασκευής τους, η ικανότητα ανάπτυξης σε μεγάλες διαστάσεις, ακόμα και σε εύκαμπτα υποστρώματα, αλλά και η δυνατότητα επιλογής βασικών χαρακτηριστικών τους, όπως για παράδειγμα το φάσμα απορρόφησης.

Σήμερα υπάρχουν τρεις τύποι οργανικών φωτοβολταϊκών διατάξεων: οι ηλεκτροχημικές, οι οργανικές που βασίζονται σε μικρά οργανικά μόρια (κυρίως

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

χρωστικές) και οι πολυμερικές. Οι μεγαλύτερες ενεργειακές αποδόσεις (11%) έχουν επιτευχθεί στις ηλεκτροχημικές διατάξεις (που είναι γνωστές ως Gratzel cells), οι οποίες βασίζονται σε νανοκρυσταλλικό TiO₂ και οργανικές χρωστικές.

Μια ενδιαφέρουσα κατηγορία υλικών, ως προς την πιθανή χρήση τους σε φωτοβολταϊκές διατάξεις, είναι τα συζυγή πολυμερή (οργανικοί ημιαγωγοί) τα οποία συνδυάζουν τις οπτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες ενός κλασσικού ημιαγωγού με τις εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες ενός πολυμερούς.

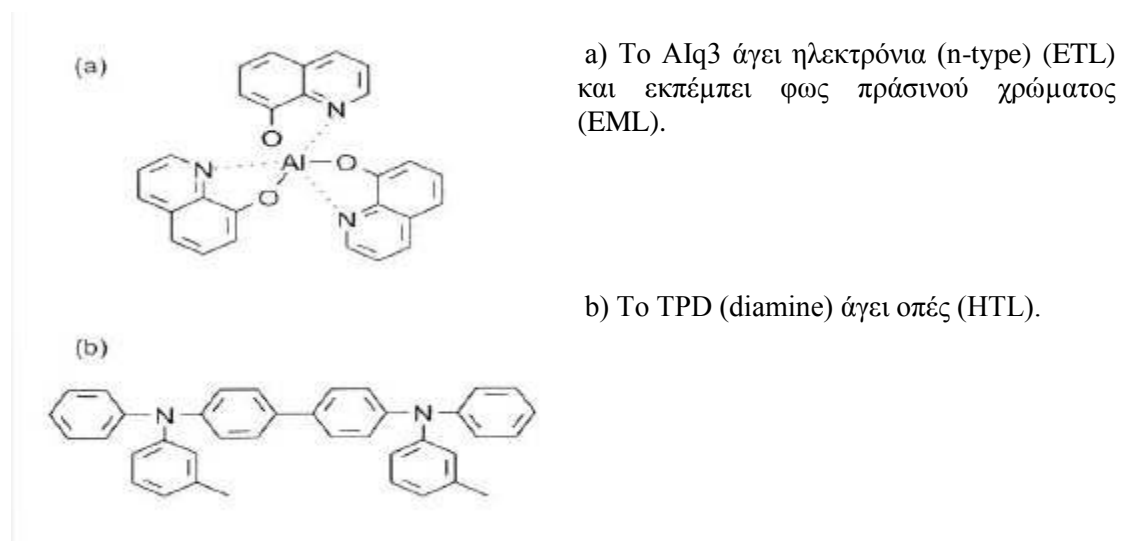
4.1. ΟΡΓΑΝΙΚΟΙ ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ

Οι οργανικοί ημιαγωγοί – νέα μόρια με βάση τον άνθρακα που έχουν παρόμοιες ηλεκτρικές ιδιότητες με πιο συμβατικά ημιαγωγικά υλικά όπως το πυρίτιο και το γερμάνιο – είναι ένα πολύ «καυτό» ερευνητικό θέμα διότι πρακτικοί και υψηλών επιδόσεων οργανικοί ημιαγωγοί θα ανοίξουν ολόκληρες νέες κατηγορίες μελλοντικών ηλεκτρονικών συσκευών. Φανταστείτε ένα «ψηφιακό χαρτί» σε μέγεθος ίσο μ' ένα μηνιαίο περιοδικό που θα μπορείτε να το αναδιπλώνετε και να το βάζετε στο πορτοφόλι σας ή τεράστια φύλλα με φωτοβολταϊκά κύτταρα τα οποία θα είναι πάμφθηνα διότι θα παράγονται στην ουσία από ink-jet εκτυπωτές αλλά και άλλα συστήματα όπως είναι οι οθόνες οι οποίες έχουν υπόστρωμα το γυαλί.

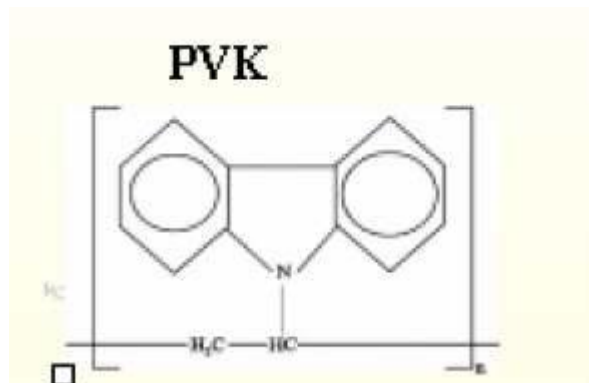
Οι οργανικοί ημιαγωγοί εμφανίζουν εκτεταμένες συζυγίες απλών και διπλών δεσμών. Διακρίνονται σε:

- Μικρομόρια (Small Molecules) και
- Συζευγμένα Πολυμερή (Conjugated Polymers)

Εικόνα 4.1: Τυπικές δομές μικρομορίων είναι:



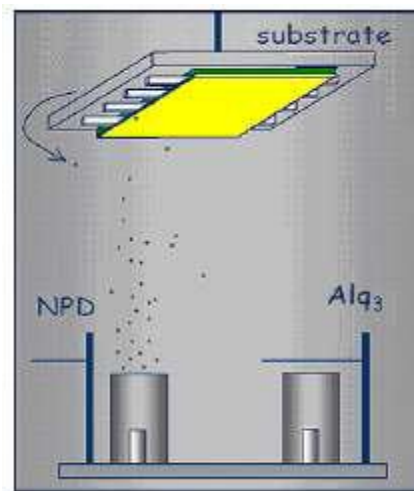
Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών



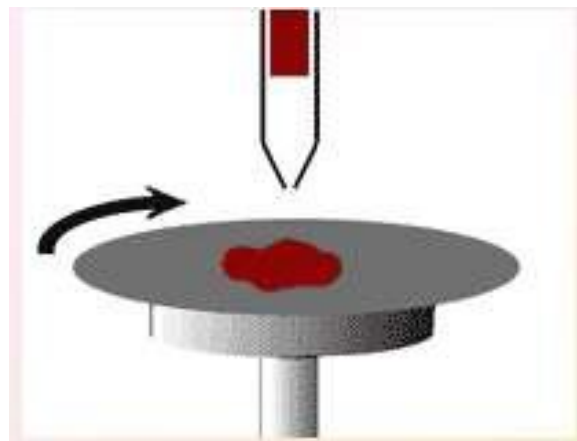
Εικόνα 4.2: Το PVK είναι ένα αγώγιμο συζευγμένο πολυμερές που εκπέμπει στην μπλε περιοχή του φάσματος.

Τα συζυγή πολυμερή (οργανικοί ημιαγωγοί) συνδυάζουν τις οπτικές και ηλεκτρικές ιδιότητες ενός κλασσικού ημιαγωγού με τις εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες ενός πολυμερούς. Οι σχετικές διατάξεις αναπτύσσονται συνήθως από διάλυμα με διάφορες απλές σε διαδικασία τεχνικές εναπόθεσης όπως με σταγόνες (drop casting), με φυγοκέντριση (spin-coating) και με εκτύπωση (printing), τεχνικές που λειτουργούν σε θερμοκρασίες δωματίου. Παράλληλα, τα πολυμερικά φωτοβολταϊκά δεν εμπεριέχουν υγρά όπως τα αντίστοιχα ηλεκτροχημικά, υγρά τα οποία οδηγούν σε απαίτηση προστασίας από τον αέρα, ενώ μπορούν να εναποτεθούν εύκολα σε μεγάλες πλαστικές εύκαμπτες επιφάνειες.

Παρουσιάζονται συνοπτικά μέθοδοι εναπόθεσης οργανικών υμεναίων.



Εικόνα 4.3: Εναπόθεση των μικρομορίων Εξάχνωση υπό κενό



Εικόνα 4.4: Επικάλυψη με περιστροφή (Spin – Coating)

Η spin coating είναι μια τεχνική για ανάπτυξη λεπτών υμενίων σε επίπεδα υποστρώματα. Συνήθως χρησιμοποιείται για ανάπτυξη οργανικών διαλυμάτων τα

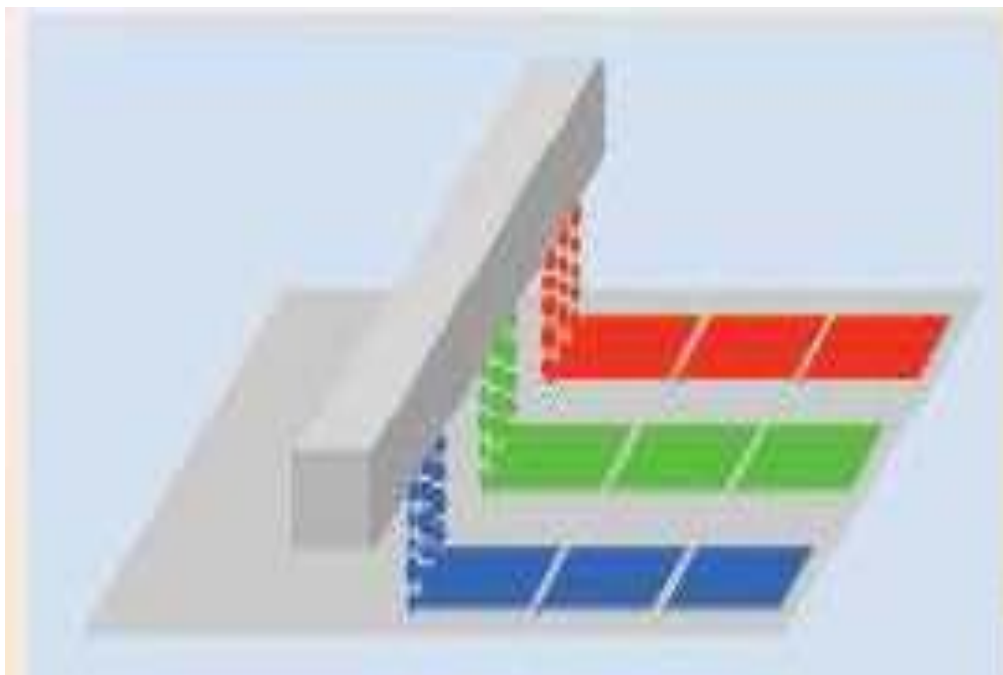
Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

οποία να αναπτύξουν λεπτά υμένια πάχους ακόμη και κάτω από 10 nm. Η διαδικασία του spin coating περιλαμβάνει 3 βήματα:

1^ο βήμα: τοποθέτηση του υλικού (υγρή μορφή) επάνω στο υπόστρωμα. Αυτό μπορεί να γίνει είτε στατικά πριν την έναρξη των περιστροφών είτε με την εκκίνηση. Για την ρύθμιση της ποσότητας υλικού που θέλουμε να τοποθετηθεί χρησιμοποιείται δοσομετρητής ο οποίος συνδέεται με την σύριγγα όπου περιέχει το υλικό.

2^ο βήμα: το υπόστρωμα επιταχύνεται μέχρι να επιταχύνεται έως ότου φτάσει στον επιθυμητό αριθμό στροφών ανά λεπτό. Οι περιστροφές μπορούν να χωριστούν σε δύο σταδια. Το πρώτο είναι για αργές περιστροφές ενώ το δεύτερο για γρήγορες. Για καθένα από αυτά μπορούμε να επιλέξουμε χρόνο διάρκειας και αριθμό στροφών ανά λεπτό.

3^ο βήμα: αφού τελειώσει η διαδικασία το υπόστρωμα με το εναποθετημένο υλικό τοποθετείται σε μία θερμαινόμενη πλάκα ή φούρνο ώστε να εξατμιστούν οι διαλύτες και να στεγνώσει το λεπτό υμένιο.



Εικόνα 4.5: Επικάλυψη με ψεκασμό (Inkjet Printing)

Κατά τη μέθοδο αυτή ειδικές κεφαλές, που περιέχουν το πολυμερές, το ψεκάζουν στην επιφάνεια της ανόδου με κίνηση.

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Ο συνδυασμός χαμηλού κόστους, ευκολία παρασκευής σε χαμηλές θερμοκρασίες, καλών μηχανικών ιδιοτήτων και εύκολης μεταβολής των ιδιοτήτων τους, δίνουν τη δυνατότητα στους οργανικούς ημιαγωγούς να χρησιμοποιούνται όχι μόνο σε φωτοβολταϊκές διατάξεις αλλά και σε πολλές τεχνολογικές εφαρμογές, αντικαθιστώντας τους συνήθεις ημιαγωγούς. Επιπλέον, λόγω της αντικατάστασης των κλασσικών γυάλινων υποστρωμάτων από εύκαμπτα πλαστικά, μπορούμε πλέον να μιλάμε για εύκαμπτα φωτοβολταϊκά, τα οποία αναμένεται να οδηγήσουν σε ελάττωση του βάρους αλλά και ανάπτυξη πλήθους σχημάτων που θα επιτρέπουν εξοικονόμηση χώρου. Η κατασκευή των σχετικών διατάξεων μπορεί να γίνει και μέσω συνεχούς διαδικασίας τύπου roll-to-roll, η οποία επιτρέπει μεγαλύτερη, οικονομικότερη και μαζικότερη παραγωγή, αφού επιτρέπει την ανάπτυξη διαδοχικών στρωμάτων με την κίνηση του υποστρώματος από περιστρεφόμενα ρολά. Τέλος, είναι δυνατή η ανακύκλωση αυτών των συσκευών ενώ παρουσιάζουν και καλύτερη αντοχή σε θραύση / κρούση.

Το κύριο εμπόδιο μέχρι σήμερα για την εμπορική ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών αυτών είναι οι φτωχές αποδόσεις μετατροπής της προσπίπτουσας ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Έχουν αναφερθεί αποδόσεις μέχρι 6%, που είναι σχετικά χαμηλές σε σχέση με τις συμβατικές διατάξεις πυριτίου, όπου αποδόσεις της τάξης του 25% είναι εύκολα εφικτές. Η μη αξιόλογη απόδοση στα οργανικά φωτοβολταϊκά προέρχεται από τη χαμηλή απορρόφηση των πολυμερών στο κόκκινο του ηλιακού φάσματος αλλά και τη σχετικά φτωχή ικανότητα τους στο να δημιουργούν φορτία και να τα μετακινήσουν στα ηλεκτρόδια. Έχουν προταθεί διάφορες προσεγγίσεις για την επίλυση αυτών των προβλημάτων, όπως για παράδειγμα, η ανάπτυξη καινοτόμων συζυγών πολυμερών που θα απορροφούν και το κόκκινο μέρος του φάσματος αλλά και η ανάπτυξη τεχνικών που τροποποιούν την απορροφητικότητα της διάταξης. Αναφορικά όμως με τη μη αποδοτική δημιουργία και μετακίνηση φορέων φορτίου, προτού αναφέρουμε τις πιθανές λύσεις, ας εξετάσουμε την αρχή λειτουργίας των οργανικών φωτοβολταϊκών στοιχείων.

4.2 ΟΡΓΑΝΙΚΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ OPVs (Organic Photovoltaic Devices)

Την τελευταία δεκαπενταετία έχει γίνει σημαντική αύξηση ενδιαφέροντος για τα ηλιακά κύτταρα που βασίζονται στα οργανικά υλικά. Αυτό οφείλεται εν μέρει στην ταχεία ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής αγοράς, η οποία έχει υποκινήσει την έρευνα στις πιο μακροπρόθεσμες, πιο καινοτόμες φωτοβολταϊκές τεχνολογίες, και εν μέρει στην ανάπτυξη των οργανικών ηλεκτρονικών υλικών για τις εφαρμογές επίδειξης.

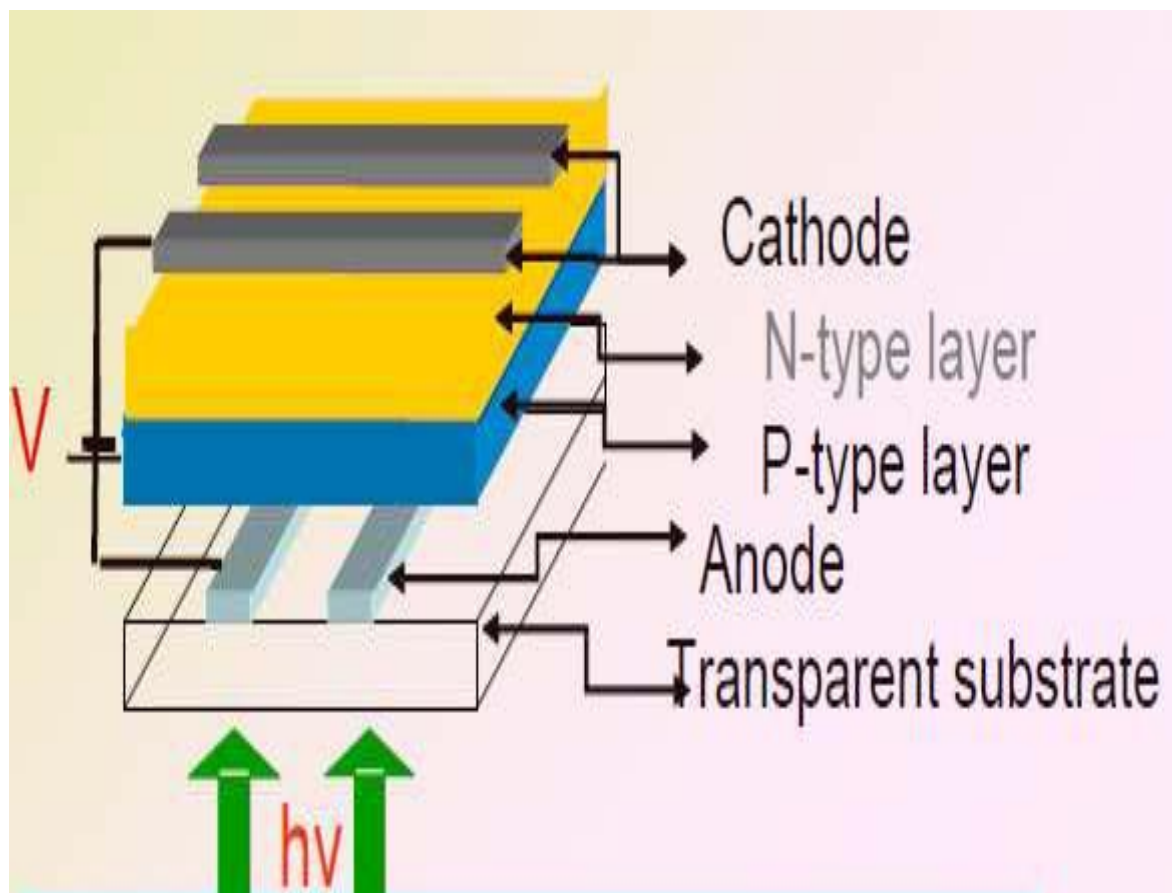
Η γρήγορη πρόοδος στα οπτικοηλεκτρονικά μοριακά υλικά έχει εισαγάγει μια σειρά πιθανών νέων φωτοβολταϊκών υλικών, καθώς επίσης και μια βελτιωμένη κατανόηση των ικανοτήτων τέτοιων υλικών και της εμπιστοσύνης στην εφαρμογή και χρήση τους.

Οι οργανικές φωτοβολταϊκές διατάξεις (OPVs) είναι ημιαγωγικές διατάξεις οι οποίες αποτελούνται από ένα ή περισσότερα πολυμερικά στρώματα – ταινίες (polymeric films).

4.2.1 ΤΥΠΙΚΗ ΔΟΜΗ OPVs

Η τυπική δομή ενός OPVs είναι η παρακάτω:

- **Διαφανές ηλεκτρόδιο καθόδου.** Χρησιμοποιείται για την απορρόφηση της ακτινοβολίας. Το υλικό που χρησιμοποιείται πιο πολύ είναι το ITO και είναι το σημείο κατά το οποίο συλλέγονται οι οπές.
- **Οργανικό στρώμα.** Βρίσκεται ανάμεσα στα δύο ηλεκτρόδια και είναι το μέσο στο οποίο δημιουργούνται τα ζεύγη ηλεκτρονίων – οπών. Μερικά από τα οργανικά υλικά που χρησιμοποιούνται σαν υπόστρωμα είναι τα P3OT, MEH – PPV, PFO.
- **Ηλεκτρόδιο ανόδου.** Είναι το σημείο κατά το οποίο συλλέγονται τα ηλεκτρόνια. Συνήθως κατασκευάζεται από αλουμίνιο καθώς και από άλλα υλικά όπως Ca, Mg, Cu.

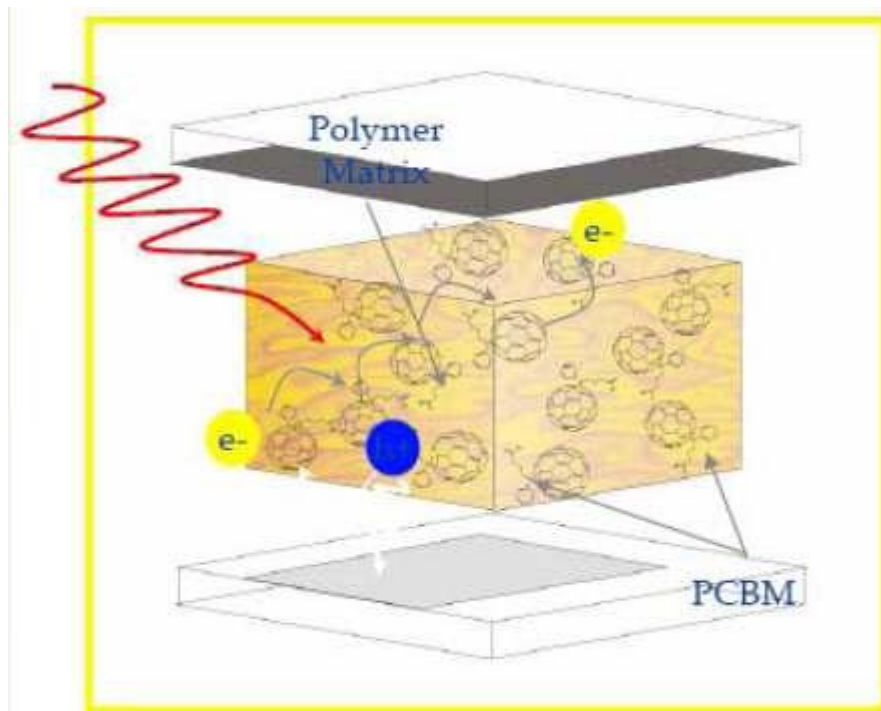


Εικόνα 4.6: Τυπική δομή οργανικής φωτοβολταϊκής διάταξης.

4.2.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ OPV_s

Η θεωρία λειτουργίας των οργανικών ηλιακών κελιών είναι παρόμοια με αυτή των ηλιακών κελιών που βασίζονται στο πυρίτιο, στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από το φως του ήλιου σύμφωνα με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι το αποτέλεσμα του συνδυασμού δύο λειτουργιών που λαμβάνουν χώρα στον ημιαγωγό όταν προσπίπτει το ηλιακό φως πάνω του. Η πρώτη λειτουργία είναι η παραγωγή μέσω φωτός ηλεκτρικών φορτίων, ηλεκτρόνια ή οπές, σε ένα ελαφρύ απορροφητικό υλικό και η δεύτερη είναι ο διαχωρισμός των ηλεκτρικών φορτίων στην αγώγιμη επαφή η οποία θα μετατρέψει το διαχωρισμό αυτό σε ηλεκτρική ενέργεια.

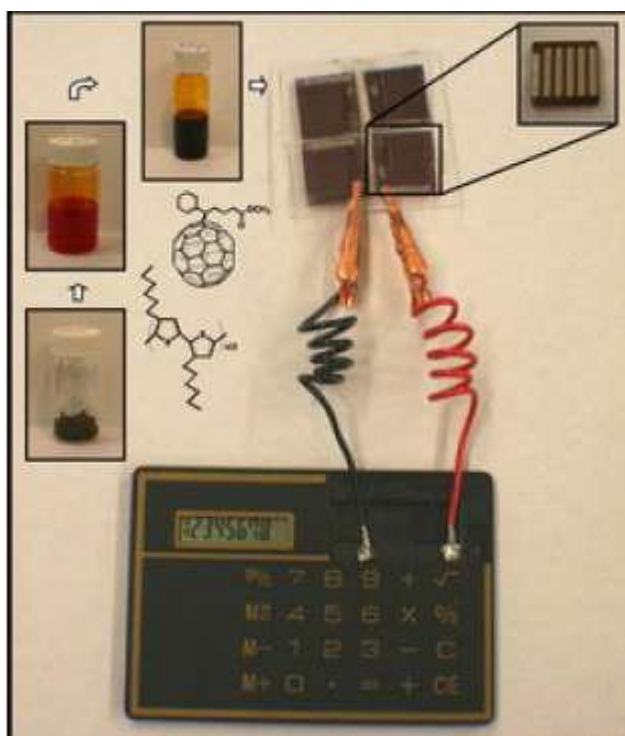
Η κύρια διαφορά των οργανικών από τις ανόργανες διατάξεις είναι ότι η απορρόφηση φωτός δεν δημιουργεί ελεύθερους φορείς φορτίου αλλά δεσμευμένους, με το δεσμευμένο ζευγάρι θετικού και αρνητικού φορτίου να είναι γνωστό ως εξιτόνιο. Το φωτοενεργό υλικό, που συνήθως είναι ένα μείγμα πολυμερούς με κάποια νανοδομή, τοποθετείται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, ενός διαφανούς, απ' όπου εισέρχεται το φως, και ενός μεταλλικού, σαν παράδειγμα από αλουμίνιο. Όταν φωτιστεί το φωτοενεργό υλικό, το φως που απορροφάται διεγείρει τα ηλεκτρόνια του πολυμερούς. Η διέγερση αυτή έχει σαν αποτέλεσμα την απομάκρυνση των ηλεκτρονίων από τον πυρήνα, οπότε το πολυμερές εμφανίζεται σαν να σχηματίζεται από δύο τμήματα, ένα με θετικό και ένα με αρνητικό φορτίο. Ο συνδυασμός των δύο αντίθετων φορτίων είναι το εξιτόνιο, το οποίο μπορεί να διαχωριστεί σε «ελεύθερα» φορτία μέσω ενός ηλεκτρικού πεδίου.



Εικόνα 4.7 : Αρχή Λειτουργίας των OPVs

Σε πρώτη προσέγγιση, ο διαχωρισμός των εξιτονίων μπορεί να επιτευχθεί από το εσωτερικό πεδίο που δημιουργεί το διαφορετικό δυναμικό ιονισμού των δύο ηλεκτροδίων. Όμως, τα «ελεύθερα» φορτία που δημιουργούνται μπορούν να επανασυνδεθούν μετά από μετακίνηση τους κατά μερικές δεκάδες nm (10^{-9} m), απόσταση πολύ μικρότερη από τη διαδρομή που πρέπει να διανύσουν μέχρι τα ηλεκτρόδια. Για να ενισχυθεί ο διαχωρισμός των εξιτονίων αλλά και να ελαχιστοποιηθεί η επανασύνδεση των φορέων φορτίου, μπορεί να ενσωματωθεί μέσα στο πολυμερές ένα επιπλέον, συνήθως ανόργανο αλλά και μερικές φορές οργανικό, υλικό, το οποίο μπορεί να υποδέχεται και να μεταφέρει ηλεκτρόνια. Η ανάμειξη των δύο υλικών, του πολυμερούς που αποδίδει ηλεκτρόνια και του ανόργανου που τα υποδέχεται, προκαλεί την ανάπτυξη διεπιφανειών μεταξύ διαφορετικών υλικών (ετεροεπαφές), όπου αναπτύσσεται εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο που προκαλεί διαχωρισμό των εξιτονίων. Στη συνέχεια, το πολυμερές δότης ηλεκτρονίων και ο δέκτης ηλεκτρονίων μεταφέρουν τα θετικά και τα αρνητικά φορτία αντίστοιχα στα ηλεκτρόδια. Μια πυκνή κατανομή των διεπιφανειών μέσα στο σύνθετο υλικό εγγυάται μία αποδοτική δημιουργία και μετακίνηση των φορέων φορτίου.

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών



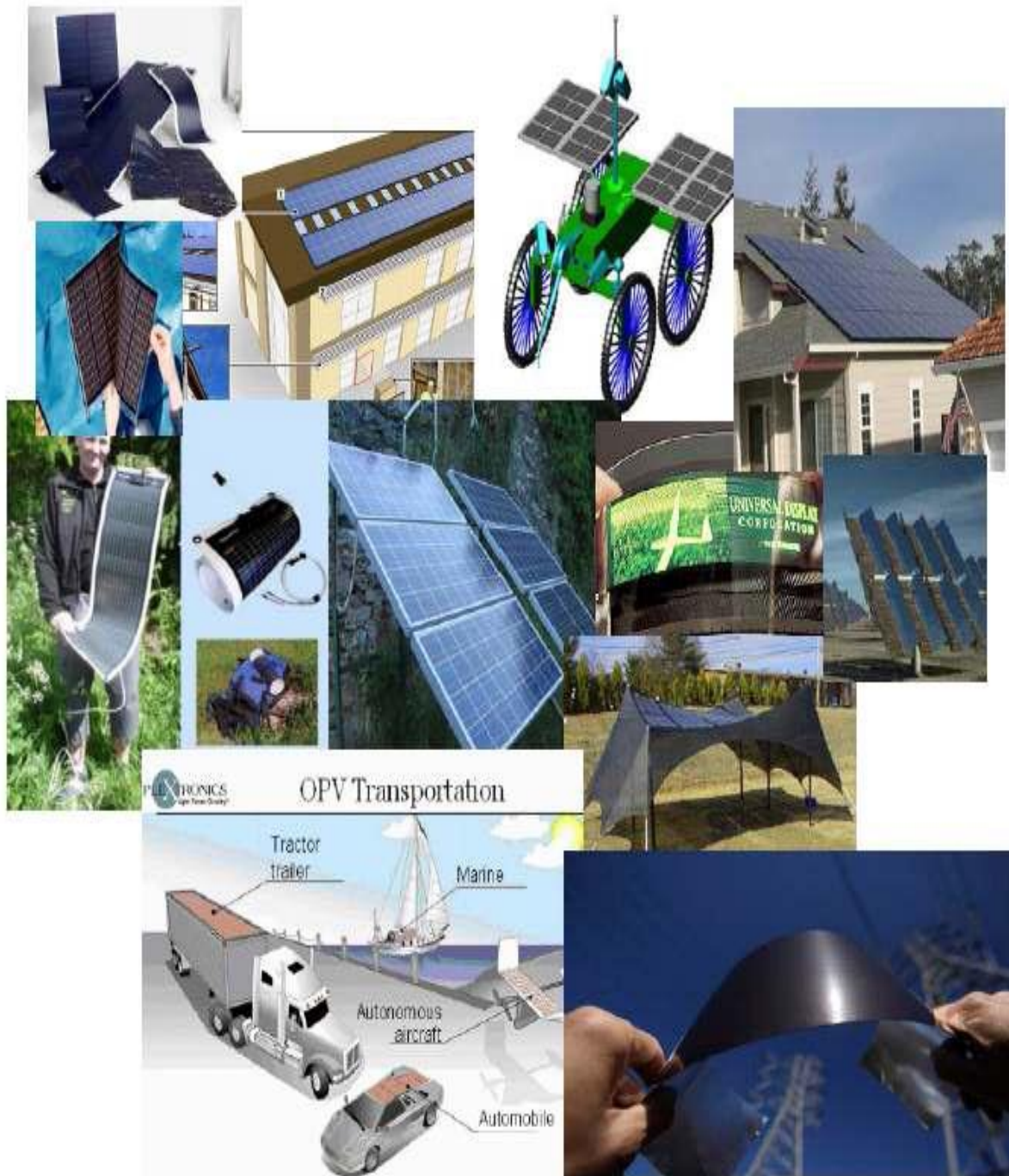
Εικόνα 4.8 : Παράδειγμα οργανικών /υβριδικών Φ/Β.

4.2.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ OPV_s

Οι εφαρμογές των οργανικών φωτοβολταϊκών κυμαίνονται άμεσα γύρω από την καθημερινή μας ζωή. Ρούχα που θα προβάλλουν εικόνες και φωτογραφίες φτιαγμένα από πλαστικά τα οποία φορτίζονται από τον ήλιο, κινητά τηλέφωνα από πλαστικά φωτοβολταϊκά τα οποία δεν θα χρειάζονται φόρτιση, πλαστικά παιχνίδια χωρίς μπαταρίες, ενώ στους δρόμους θα υπάρχουν διαφημιστικές πινακίδες που θα προβάλλουν διαφημίσεις χωρίς να χρειάζεται να παίρνουν ρεύμα.

Λάμπες φωτισμού και σήματα οδικής κυκλοφορίας θα δουλεύουν και αυτά με πλαστικά φωτοβολταϊκά, σκηνές φτιαγμένες από αυτά θα παρέχουν ρεύμα παντού ενώ παράθυρα και τέντες φτιαγμένες από αυτά τα υλικά θα χρησιμεύουν για να καλύπτουν μέρος της ενεργειακής ζήτησης των οικιών. Τέλος τα φωτοβολταϊκά αυτά λόγω της χαμηλής τους τιμής θα μπορούσαν να ηλεκτροδοτήσουν περιοχές του τρίτου κόσμου που είναι απομονωμένες ή δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα να πάρουν ρεύμα από συμβατικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής.

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών



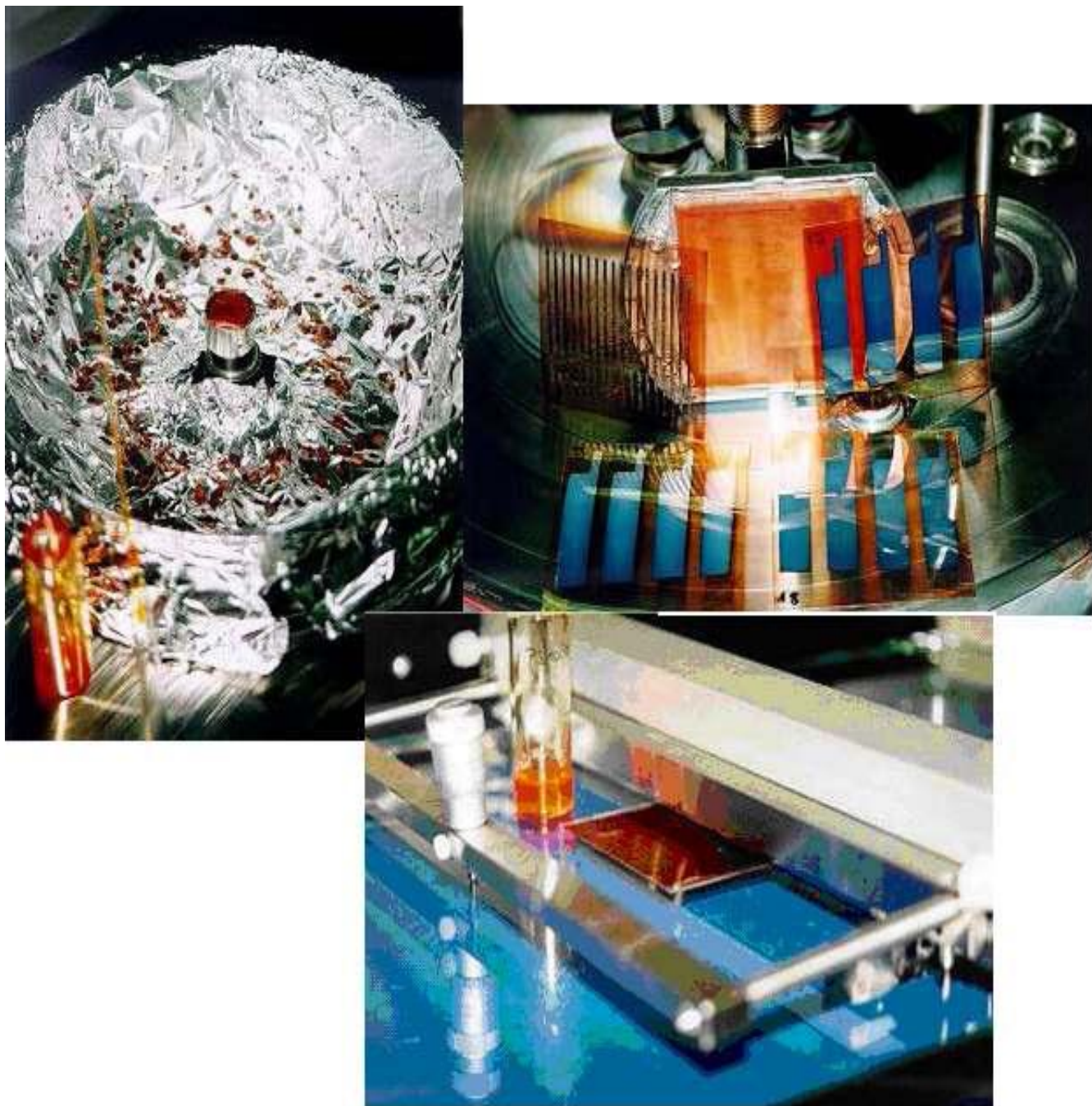
Εικόνα 4.9: Διάφορες εφαρμογές των OPVs

4.2.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ OPVs

Μέχρι στιγμής αρκετά είναι τα πλεονεκτήματα καθώς και τα μειονεκτήματα όσον αφορά την περαιτέρω ανάπτυξη των οργανικών πολυμερικών φωτοβολταϊκών διατάξεων. Έτσι μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι:

- Έχουν χαμηλό κόστος.
- Μικρό βάρος.
- Μηχανική ευκαμψία και διαφάνεια.
- Το χάσμα ζωνών των οργανικών υλικών μπορεί εύκολα χημικά να συντονιστεί με την ενσωμάτωση διαφορετικών λειτουργικών ομάδων.
- Λόγω των ιδιοτήτων τους (εύκαμπτα και εύκολα προσαρμοζόμενα) μπορούν να ενσωματωθούν σε μαλακές επιφάνειες.
- Επεξεργάζονται πολύ εύκολα με διάφορες τεχνικές:
 1. Spin coating
 2. Doctor Blade techniques (wet processing)
 3. Evaporation (dry processing)
 4. Printing

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών



Εικόνα 4.10: Τεχνικές Παραγωγής OPVs (Spin coating, Doctor Blade)

4.2.5 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ OPVs

Μερικά από τα πιο κατανοητά προβλήματα που παρουσιάζουν τα οργανικά φωτοβολταϊκά είναι:

- Η παρουσία ισχυρής οδηγούσας δύναμης για την διάσπαση του εξιτονίου.
- Παρατηρείται μικρή κινητικότητα του φορτίου.
- Περιορισμένη απορρόφηση φωτός κατά μήκος του ηλιακού φάσματος, γεγονός που περιορίζει το ρεύμα των ηλεκτρονίων.
- Μικρός σχετικά χρόνος ζωής που κυμαίνεται σε λιγότερο από 5 χρόνια και μικρή σχετικά με την τεχνολογία του πυριτίου απόδοση της τάξεως κοντά του 5%.
- Προβλήματα σταθερότητας των διατάξεων
- Χαμηλός χρόνος ζωής (τα οργανικά υλικά είναι ευαίσθητα στο οξυγόνο και την υγρασία)
- Δεν υπάρχουν ακόμη στην αγορά. Καταγράφεται όμως πολύ έντονη ερευνητική δραστηριότητα (σε ακαδημαϊκά ιδρύματα, ερευνητικά κέντρα και εταιρείες).
- Δυνατότητα / προοπτική (potential) για σχετικά χαμηλό κόστος κατασκευής / παραγωγής σε μαζική κλίμακα.

Τα OPVs δείχνουν μια υποσχόμενη τεχνολογική ανάπτυξη μιας και η αποδοτικότητα μέχρι το 10% μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική από το 5% περίπου που ισχύει σήμερα δεν εμφανίζει αναγνωρισμένα εμπόδια. Επίσης η χρησιμοποίηση της τεχνικής *role to role* (R2R) εγγυάται χαμηλό κόστος κατασκευής. Όλα τα παραπάνω δημιουργούν την πεποίθηση ότι τα OPVs είναι οι πλέον υποσχόμενες διατάξεις για την επόμενη γενιά των φωτοβολταϊκών διατάξεων.

4.3 ΚΟΣΤΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Το κόστος των φωτοβολταϊκών από πολυμερή έχει ένα αρκετά μεγάλο εύρος αφού η τεχνολογία είναι ακόμα στα σπάργανα. Υπολογίζεται πως το κατασκευαστικό κόστος για ένα καθαρά οργανικό φωτοβολταϊκό στοιχείο κυμαίνεται μεταξύ \$50 και \$140 το τετραγωνικό μέτρο. Από αυτά ένα μέρος ανάμεσα στα \$23 και \$37 οφείλεται στο κόστος των υλικών κατασκευής, με το ακριβότερο τμήμα να είναι τα ευλύγιστα πλαστικά που χρησιμοποιούνται ως υπόστρωμα (substrate). Παρ'όλα αυτά, η τιμή του υποστρώματος των πολυμερών φωτοβολταϊκών αναμένεται να είναι αρκετά μικρότερη από την τιμή των σημερινών φωτοβολταϊκών πυριτίου και περαιτέρω πτώση της τιμής τους, θα είναι μεγάλο πλεονέκτημα για τα φωτοβολταϊκά από πολυμερή.

Το υπόλοιπο ποσό εξαρτάται από το κόστος κατεργασίας. Εκεί την μεγαλύτερη διακύμανση την εμφανίζει το αρχικό κεφάλαιο για την αγορά των απαραίτητων οργάνων κατεργασίας, με το κόστος τους να κυμαίνεται από \$3,30 έως \$59,60. Αυτή η μεγάλη διακύμανση οφείλεται στο γεγονός πως η τιμή αυτών των φωτοβολταϊκών εξαρτάται κυρίως από την απόδοσή τους, ένα μέγεθος που είναι πολύ ευαίσθητο ως προς τον τρόπο κατασκευής τους. Αυτή τη στιγμή ο βαθμός απόδοσής τους είναι περίπου $n \sim 5\%$ σε εργαστηριακές συνθήκες, ωστόσο η άνοδος του στο $n \sim 9\%$ αυξάνει έως και 2 φορές την τιμή του κόστους κατασκευής τους.

Αν υποθεθεί πως θα έχει πέντε χρόνια εγγύηση, όπως είναι η τωρινή διάρκεια ζωής των περισσότερων πλαστικών φωτοβολταϊκών, συμπεραίνεται πως το ηλεκτρικό ρεύμα από το φωτοβολταϊκό θα έχει κόστος από \$0,49 έως \$0,85/kWh, ένα ποσό υψηλότερο τόσο από το κόστος για την παραγωγή ενέργειας από τα συνηθισμένα φωτοβολταϊκά, όσο και από το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από άλλες πηγές ενέργειας, όπως το πετρέλαιο ή η αιολική ενέργεια. Ωστόσο, για να καταφέρουν τα φωτοβολταϊκά από πολυμερή να ανταγωνιστούν τα συνηθισμένα φωτοβολταϊκά πυριτίου, αυτό το κόστος πρέπει να πέσει περίπου στο \$0,07/kWh, γεγονός που απαιτεί ο βαθμός απόδοσής τους να ανέβει στο 15% και η εγγύηση ζωής να κυμαίνεται ανάμεσα σε 15 με 20 χρόνια.

5. ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΗΛΙΑΚΕΣ ΚΥΨΕΛΙΔΕΣ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία βασίζονται στο διαχωρισμό φορέων στη διεπιφάνεια δύο υλικών, τα οποία έχουν διαφορετικό μηχανισμό αγωγιμότητας. Ο τομέας αυτός κυριαρχείται από διατάξεις επαφών στερεάς κατάστασης, συνήθως κατασκευασμένες από πυρίτιο, και επωφελείται από την εμπειρία και τη διαθεσιμότητα υλικών ως αποτέλεσμα της βιομηχανίας ημιαγωγών. Η κυριαρχία των διατάξεων αυτών όμως, απειλείται πλέον από την εμφάνιση μιας τρίτης γενιάς φωτοβολταϊκών κυττάρων, που βασίζονται, μεταξύ άλλων, σε νανοκρυσταλλικά οξειδία και σε αγώγιμα πολυμερή υμένια. Αυτή η γενιά κυττάρων παρουσιάζει μια σειρά από ελκυστικά χαρακτηριστικά που διευκολύνει την είσοδό της στην αγορά, όπως σχετικά χαμηλό κόστος και ευκολία παρασκευής, με τα υλικά αυτά να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εύκαμπτα υποστρώματα ώστε να μορφοποιούνται εύκολα και να προσαρμόζονται κάθε φορά σε διαφορετικές εφαρμογές. Αντίθετα από τις δυσοίωνες προβλέψεις, αυτά τα φωτοβολταϊκά στοιχεία παρουσίασαν αρκετά υψηλές αποδόσεις, ανταγωνιστικές με αυτές των συμβατικών κυττάρων. Επιπλέον, η αξιοσημείωτη πρόοδος που εμφανίζεται τα τελευταία χρόνια στην κατασκευή και στον χαρακτηρισμό των νανοκρυσταλλικών υλικών έχει δημιουργήσει νέες ευκαιρίες για τα συστήματα αυτά. Μάλιστα, οικονομοτεχνικές μελέτες προβλέπουν ότι σύντομα (μέσα στα επόμενα 25 χρόνια) η τεχνολογία των κλασικών φωτοβολταϊκών στερεάς μορφής (π.χ. κρυσταλλικού πυριτίου) θα αντικατασταθεί σταδιακά από συστήματα βασισμένα είτε στην τεχνολογία των λεπτών υμενίων είτε σε «καθαρά» φωτοηλεκτροχημικές διατάξεις, όπου ένας υγρός ηλεκτρολύτης αντικαθιστά την αγώγιμη φάση που συμβατικά βρίσκεται σε επαφή με τον ανόργανο ημιαγωγό. Ιδιαίτερη κατηγορία αυτής της οικογένειας διατάξεων αποτελούν οι ευαισθητοποιημένες ηλιακές κυψελίδες (DSSC - dye sensitized solar cells), οι οποίες εξετάζονται στην παρούσα εργασία. Σε αυτή την κατηγορία φωτοβολταϊκών, οι διαδικασίες της απορρόφησης και της μεταφοράς των φορτίων διαχωρίζονται λόγω συνδυασμού ενός ευαισθητοποιητή, ο οποίος δρα ως υλικό απορρόφησης, με έναν ευρέως χάσματος ημιαγωγό νανοκρυσταλλικής μορφολογίας (O'Regan και Grätzel, 1991).

5.1 ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΑΣ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΚΥΨΕΛΙΔΑΣ

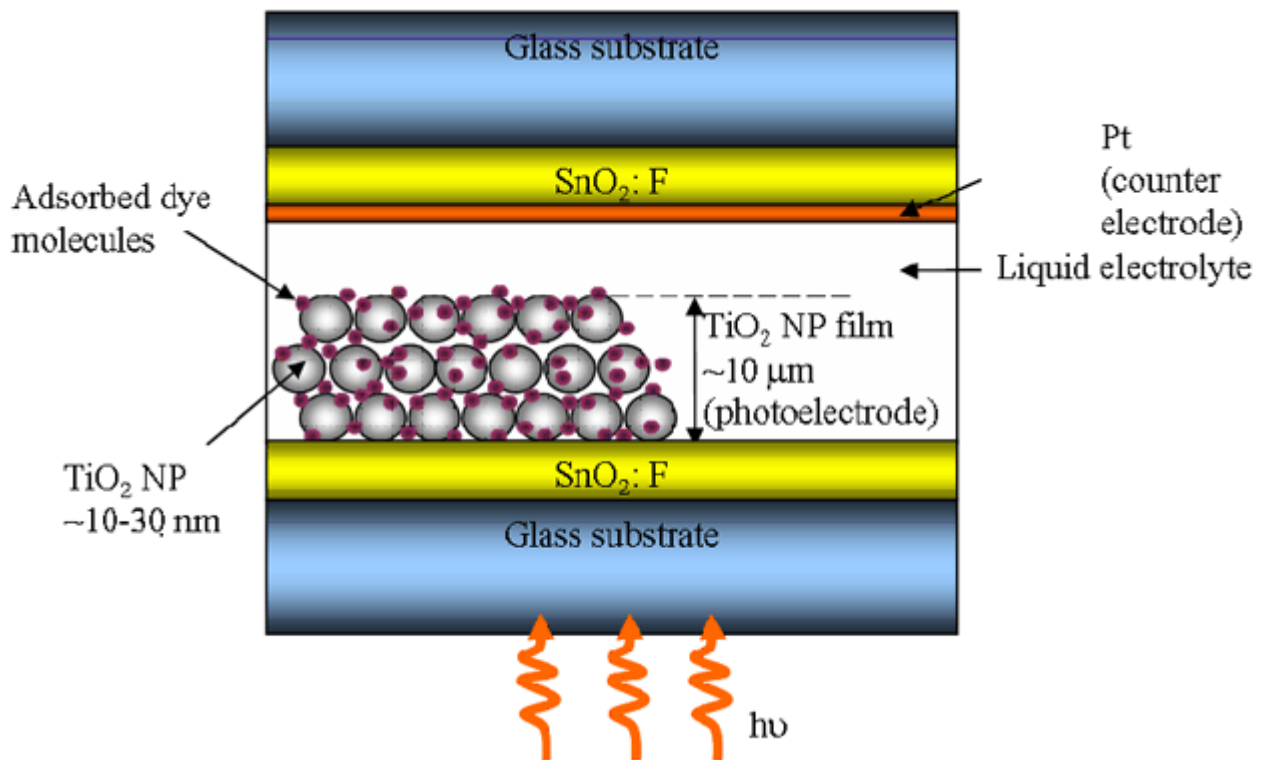
Η ιδέα της ευαισθητοποίησης του ημιαγωγού μιας φωτοηλεκτροχημικής ηλιακής κυψελίδας προέκυψε από την ανάγκη να παρασκευαστεί μια κυψελίδα, η οποία θα είναι χημικά σταθερή υπό συνεχή φωτισμό και θα απορροφά στην ορατή περιοχή του φάσματος. Πολλά οξείδια μετάλλων ικανοποιούν την πρώτη απαίτηση, όμως τα περισσότερα απορροφούν στην υπεριώδη περιοχή. Η επέκταση του φάσματος απορρόφησης αυτών των ημιαγωγών πραγματοποιείται κατά τη διαδικασία της ευαισθητοποίησής τους.

Η ευαισθητοποιημένη ηλιακή κυψελίδα που προέκυψε από αυτήν την καινοτόμο διαδικασία αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη:

- Στην αγώγιμη επιφάνεια ενός διαφανούς υποστρώματος γίνεται η απόθεση ενός λεπτού υμενίου ημιαγωγού, το οποίο αποτελείται συνήθως από νανοσωματίδια ZnO, TiO₂, SnO₂, Nb₂O₅, In₂O₃ κ.α. Το υμένιο διαδραματίζει το ρόλο της ανόδου.
- Στην επιφάνεια του υμενίου προσροφώνται τα μόρια του ευαισθητοποιητή, τα οποία απορροφούν στην περιοχή του ορατού φάσματος.
- Στην αγώγιμη επιφάνεια ενός δεύτερου διαφανούς υποστρώματος γίνεται η απόθεση ενός λεπτού στρώματος καταλύτη, συνήθως λευκόχρυσου, και διαδραματίζει το ρόλο της καθόδου.
- Μεταξύ του ηλεκτροδίου και του αντιηλεκτροδίου παρεμβάλλεται ηλεκτρολύτης (στερεός, υγρός ή gel), ο οποίος περιέχει ένα οξειδοαναγωγικό ζεύγος.

Στην εικόνα που ακολουθεί, φαίνονται τα μέρη από τα οποία αποτελείται μια ευαισθητοποιημένη ηλιακή κυψελίδα.

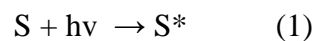
Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών



Εικόνα 5.1 : Δομή ευαισθητοποιημένης ηλιακής κυψελίδας .

Ο μηχανισμός λειτουργίας μιας ευαισθητοποιημένης ηλιακής κυψελίδας μπορεί να αναλυθεί στα επιμέρους ακόλουθα στάδια :

- Η ακτινοβολία που προσπίπτει στην κυψελίδα απορροφάται από τα μόρια του ευαισθητοποιητή έχοντας σαν αποτέλεσμα τη διέγερσή τους.

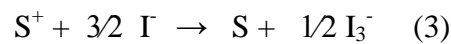


- Η διέγερση των μορίων της χρωστικής έχει ως αποτέλεσμα την έκχυση ενός ηλεκτρονίου στη ζώνη αγωγιμότητας του ημιαγωγού με την ταυτόχρονη οξείδωσή της.

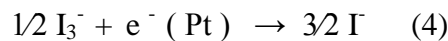


Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

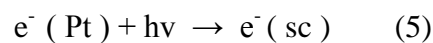
- Η χρωστική αναγεννάται όταν αντιδρά με τα ιόντα ιωδιδίου του οξειδοαναγωγικού ζεύγους του ηλεκτρολύτη και επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση.



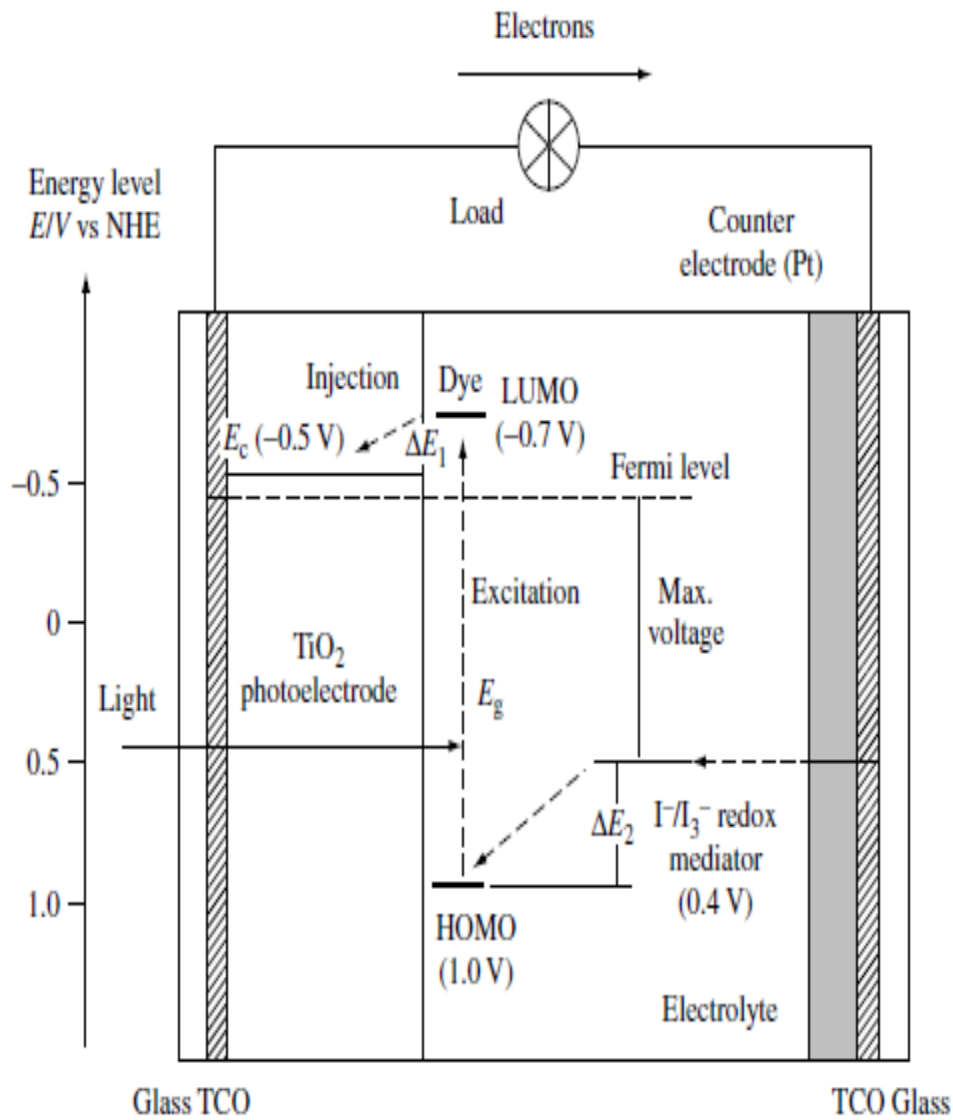
- Στο αντιηλεκτρόδιο πραγματοποιείται η αναγωγή των ιόντων τριωδίου μέσω των ηλεκτρονίων από το εξωτερικό κύκλωμα.



- Η συνολική διαδικασία που πραγματοποιείται σε μια ευαισθητοποιημένη ηλιακή κυψελίδα μπορεί να περιγραφεί από την ακόλουθη εξίσωση, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι η λειτουργία της κυψελίδας είναι πλήρως ανανεώσιμη από την φύση της, αφού καμία χημική ουσία δεν καταναλώνεται ή παράγεται κατά τη διαδικασία αυτή.



Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται ο μηχανισμός λειτουργίας μιας ευαισθητοποιημένης ηλιακής κυψελίδας



Εικόνα 5.2 : Βασικές διεργασίες κατά τη λειτουργία μιας ευαισθητοποιημένης ηλιακής κυψελίδας

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Οι ευαισθητοποιημένες ηλεκτροχημικές κυψελίδες, χαρακτηρίζονται από τις ακόλουθες ιδιότητες :

1. Υψηλή μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Αποδόσεις ανάλογες εκείνων των ηλιακών κυττάρων άμορφου Si έχουν επιτευχθεί και αποδόσεις μεγαλύτερες του 10% είναι πλέον εφικτές.

2. Χαμηλό κόστος παρασκευής.

Η διαδικασία παρασκευής των ευαισθητοποιημένων ηλιακών κυττάρων είναι σχετικά απλή και τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι φθηνά. Επομένως, το κόστος παρασκευής είναι μικρότερο σε σχέση με τα συμβατικά φωτοβολταϊκά στοιχεία.

3. Μεγάλη διαθεσιμότητα υλικών.

Τα οξείδια ημιαγωγών όπως το TiO_2, ZnO , καθώς επίσης οι χρωστικές και τα σύμπλοκα ιωδίου βρίσκονται σε μεγάλη αφθονία. Αν και οι πηγές του ρουθηνίου είναι περιορισμένες, η ποσότητα που απαιτείται για ένα DSSC είναι μόλις 10^{-7} mol/cm². Αντί για τα σύμπλοκα Ru μπορούν να χρησιμοποιηθούν οργανικές χρωστικές, όπως θα αναφέρουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

4. Λιγότερες εκπομπές προς το περιβάλλον.

Το TiO_2 , οι χρωστικές και τα σύμπλοκα ιωδίου που χρησιμοποιούνται για την Παρασκευή ευαισθητοποιημένων ηλιακών κυττάρων είναι μη τοξικά. Το μόνο συστατικό που μπορεί να θεωρηθεί επιβλαβές για το περιβάλλον είναι οι οργανικοί διαλύτες που χρησιμοποιούνται στο διάλυμα του ηλεκτρολύτη. Για το λόγο αυτό, οι έρευνες στρέφονται στην ανάπτυξη των στερεών ηλεκτρολυτών.

5. Δυνατότητα ανακύκλωσης.

Οι οργανικοί ευαισθητοποιητές, οι οποίοι έχουν προσροφηθεί στο ηλεκτρόδιο, μπορούν να αφαιρεθούν είτε με έκπλυση του ηλεκτροδίου με αλκαλικά διαλύματα είτε με καύση, επιτρέποντας έτσι τη χρήση των ηλεκτροδίων σε νέα ευαισθητοποιημένα ηλιακά κελιά .

5.2 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Είναι γνωστό ότι το φωτοηλεκτροχημικό κελί, το οποίο αποτελείται από ένα φωτοηλεκτρόδιο, έναν οξειδοαναγωγικό ηλεκτρολύτη και ένα αντιηλεκτρόδιο, μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική και παρουσιάζει αποδόσεις μεγαλύτερες του 10%. Όμως, φωτοηλεκτρόδιο μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών δομών όπως η και p-Si, η και p-GaAs, η και p-InP, και n-CdS συχνά υφίστανται φωτοδιάβρωση όταν βρίσκονται σε επαφή με το διάλυμα του ηλεκτρολύτη και δέχονται συνεχή φωτισμό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη βραχυπρόθεσμη σταθερότητα των κυττάρων. Για το λόγο αυτό, γίνονται πολλές προσπάθειες παγκοσμίως με σκοπό την ανάπτυξη ενός πιο σταθερού φωτοηλεκτροχημικού κελιού .

Οξειδία ημιαγωγών όπως το οξείδιο του Ψευδαργύρου, ZnO, και το διοξείδιο του Τιτανίου, TiO₂, δεν αποσυντίθενται όταν έρχονται σε επαφή με το διάλυμα του ηλεκτρολύτη με αποτέλεσμα να μην υφίστανται φωτοδιάβρωση υπό συνθήκες συνεχούς φωτισμού. Τα οξειδία αυτά παρουσιάζουν καλή χημική σταθερότητα και η ιδιότητά τους αυτή αποτελεί κριτήριο για τη χρήση τους σε φωτοηλεκτροχημικές κυψελίδες. Όμως, τέτοια σταθερά οξειδία ημιαγωγών δεν έχουν τη δυνατότητα να απορροφήσουν το ορατό φως, λόγω του ευρέως χάσματος που τα χαρακτηρίζει. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, πραγματοποιείται ευαισθητοποίηση των ημιαγωγών . Με τη διαδικασία της ευαισθητοποίησης του ημιαγωγού επιτυγχάνεται η επέκταση του φάσματος απορρόφησής του στην ορατή περιοχή με αποτέλεσμα να απορροφάται η μέγιστη δυνατή ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας από την επιφάνειά του .

Η ευαισθητοποίηση οξειδίων ημιαγωγών με ευρύ χάσμα από φωτοευαισθητοποιητές, όπως για παράδειγμα με οργανικές χρωστικές οι οποίες απορροφούν το ορατό φως, είχε μελετηθεί εκτενώς σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της τεχνολογίας της φωτογραφίας από τα μέσα του δεκάτου ενάτου αιώνα. Κατά τη διαδικασία της ευαισθητοποίησης η χρωστική, που έχει προσροφηθεί από την επιφάνεια του ημιαγωγού, απορροφά στο ορατό φάσμα και τα διηγεργμένα ηλεκτρόνια της εγχέονται στη ζώνη αγωγιμότητας του ημιαγωγού. Τα

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

ευαισθητοποιημένα οξειδία ημιαγωγών έχουν χρησιμοποιηθεί ως φωτοηλεκτρόδια σε φωτοηλεκτροχημικά κελιά.

Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, οι Gerischer και Tributsch ερεύνησαν ένα ηλεκτρόδιο ZnO ευαισθητοποιημένο με οργανικές χρωστικές, συμπεριλαμβανομένων της Ροδαμίνης Β, της Rose Bengal και της Φθοριζείνης. Μονοκρυσταλλικά και πολυκρυσταλλικά υλικά, τα οποία δεν απορροφούν μεγάλη ποσότητα χρωστικής, χρησιμοποιήθηκαν ως φωτοηλεκτρόδια. Επιπλέον, είχαν μικρή απόδοση όσον αφορά τη συγκέντρωση του φωτός και συνεπώς μικρό συντελεστή μετατροπής προσπιπτόντων φωτονίων σε ηλεκτρικό ρεύμα (IPCE). Επίσης, οι οργανικές χρωστικές έχουν μια στενή περιοχή απορρόφησης στο ορατό φάσμα, η οποία συμβάλλει στην χαμηλή απόδοση των ηλιακών κυττάρων. Για παράδειγμα, ο Matsumura και οι συνεργάτες του επέτυχαν, μετατρέποντας την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική, απόδοση (η) της τάξεως του 1% χρησιμοποιώντας ένα φωτοηλεκτροχημικό κελί, το οποίο αποτελείται από ένα ηλεκτρόδιο ZnO ευαισθητοποιημένο με χρωστική Rose Bengal, ένα αντιηλεκτρόδιο λευκόχρυσου και διάλυμα ηλεκτρολύτη που περιείχε το οξειδοαναγωγικό ζεύγος I^- / I_3^- . Το 1980, ο Matsumura και οι συνεργάτες του παρασκεύασαν ένα φωτοηλεκτροχημικό κελί χρησιμοποιώντας πορώδη "δισκία" ZnO που είχαν υποστεί ανόπτηση και παρουσίασαν απόδοση της τάξεως του 2,5% στα 562 nm. Στα χρόνια που ακολούθησαν σημειώθηκαν σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση των ευαισθητοποιημένων ηλιακών κυττάρων λόγω της ταυτόχρονης ανάπτυξης των νανοδομημένων ηλεκτροδίων λεπτού υμενίου TiO₂, τα οποία απορροφούν μεγάλη ποσότητα χρωστικής, και της σύνθεσης μιας νέας χρωστικής Ρουθηνίου (Ru), η οποία έχει την ιδιότητα να απορροφά στο ορατό και κοντινό υπέρυθρο, δηλαδή μεταξύ 400–900 nm.

Τα σύμπλοκα του Ρουθηνίου έχουν μελετηθεί εκτενώς ως φωτοευαισθητοποιητές σε ομογενείς καταλυτικές αντιδράσεις και σε ευαισθητοποιημένα συστήματα. Το 1979 και το 1980 μελετήθηκε το σύμπλοκο του Ru, bis(2,2'-bipyridine) (2,2'-bipyridine-4, 4'-dicarboxylate) ruthenium (II), και χρησιμοποιήθηκε για την ευαισθητοποίηση μονοκρυσταλλικών ηλεκτροδίων TiO₂.

Το 1991 τα σύμπλοκα του Ρουθηνίου χρησιμοποιήθηκαν για την παρασκευή ευαισθητοποιημένων ηλεκτροχημικών κυψελίδων από τον Grätzel και τους

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

συνεργάτες του στο ελβετικό Ινστιτούτο Τεχνολογίας (EPFL). Παρασκεύασαν ένα DSSC, το οποίο απαρτίζεται από ένα ναοκρυσταλλικό ηλεκτρόδιο λεπτού υμενίου TiO_2 μεγάλης επιφάνειας, έναν ευαισθητοποιητή Ru και ένα ιωδιούχο οξειδοαναγωγικό ζεύγος (I^-/I_3^-) σε οργανικό διαλύτη. Το ευαισθητοποιημένο αυτό ηλιακό κελί, αφού δέχθηκε ακτινοβολία υπό συνθήκες AM (Air Mass) 1.5, παρουσίασε απόδοση της τάξεως του 7 – 10% . Ανέπτυξαν επίσης ένα άλλο σύμπλοκο του Ρουθηνίου, Ru terpyridine, το οποίο απορροφά στην περιοχή του εγγύς υπερύθρου μέχρι τα 900 nm, και χρησιμοποιήθηκε για την ευαισθητοποίηση ενός ναοκρυσταλλικού ηλεκτροδίου TiO_2 . Το ηλιακό κελί, το οποίο προέκυψε από την ευαισθητοποίησή του με αυτό το σύμπλοκο Ru, παρουσίασε απόδοση 10,4%, υπό συνθήκες AM 1.5 .

Στα χρόνια που ακολούθησαν, οι ερευνητές θέλοντας να βελτιώσουν την απόδοση της ηλιακής κυψελίδας προσέγγισαν ξεχωριστά τα διάφορα μέρη που την απαρτίζουν, αντικαθιστώντας για παράδειγμα τον υγρό ηλεκτρολύτη με έναν στερεό ή πολυμερή ή gel, το αντιηλεκτρόδιο λευκόχρυσου με ένα πολυμερές ή άνθρακα ή με ένα σύνθετο αντιηλεκτρόδιο, τα γυάλινα άκαμπτα υποστρώματα με εύκαμπτα και δοκίμασαν οργανικές χρωστικές με σκοπό να μειώσουν το κόστος παρασκευής. Οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν δεν επέφεραν κάποια σημαντική βελτίωση στην απόδοση της κυψελίδας, συνέβαλαν όμως στην ανάπτυξη νέων τεχνολογιών για την παρασκευή ηλιακών κυψελίδων με καινοτόμα χαρακτηριστικά. Στα όσα ακολουθούν γίνεται μια σύντομη βιβλιογραφική αναφορά καινοτόμων αλλαγών στις οποίες προέβησαν κάποιοι ερευνητές έχοντας σαν στόχο τη βελτίωση της απόδοσης της ηλιακής κυψελίδας.

Το 1994, ο Hagfeldt και οι συνεργάτες του παρασκεύασαν μια πανομοιότυπη ηλιακή κυψελίδα TiO_2 με εκείνη που παρασκεύασαν το 1991 ο Grätzel και οι συνεργάτες του χρησιμοποιώντας όμως ένα άλλο σύμπλοκο του ρουθηνίου, $[\text{RuL}_2(\text{NCS})_2] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, για την ευαισθητοποίηση του υμενίου. Η κυψελίδα παρουσίασε απόδοση της τάξεως του 7% .

Το 1996, οι Kay και Grätzel παρασκεύασαν μια πανομοιότυπη ηλιακή κυψελίδα TiO_2 με εκείνη του 1991 με μόνη διαφορά την αντικατάσταση του αντιηλεκτροδίου του λευκόχρυσου με γραφίτη και άνθρακα, χρησιμοποιώντας έτσι

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

ένα σύνθετο αντιηλεκτρόδιο. Η απόδοση που επετεύχθη ήταν της τάξεως του 6,67% και η κυψελίδα που προέκυψε παρουσίασε καλή σταθερότητα .

Το 2004, ο Ma και οι συνεργάτες του, θέλοντας να μειώσουν το κόστος παρασκευής της ηλιακής κυψελίδας, αντικατέστησαν το γυάλινο υπόστρωμα του αντιηλεκτροδίου με φύλλα μετάλλων, όπως ανοξειδωτο ατσάλι, νικέλιο στα οποία αποτέθηκε λευκόχρυσος. Οι κυψελίδες που προέκυψαν παρουσίασαν αποδόσεις της τάξεως του 5% και παρατήρησαν ότι τα αντιηλεκτρόδια αυτά είχαν καλή χημική σταθερότητα όταν έρχονταν σε επαφή με τον ηλεκτρολύτη .

Το 2005, η ερευνητική ομάδα του Grätzel, θέλοντας να αυξήσει την απορρόφηση της ακτινοβολίας από το μονομοριακό στρώμα του ευαισθητοποιητή, παρασκεύασε μια νέα χρωστική ρουθηνίου, την K-19, με την οποία ευαισθητοποίησαν το υμένιο του TiO₂ μιας ηλιακής κυψελίδας. Αντικατέστησαν επίσης τον υγρό ηλεκτρολύτη με έναν ιοντικό χαμηλής πτητικότητας και η απόδοση της κυψελίδας που προέκυψε ξεπέρασε το 8% .

Το 2006, ο Chen και οι συνεργάτες του, θέλοντας να αντικαταστήσουν το υμένιο του TiO₂ με κάποιον άλλον ημιαγωγό ευρέως ενεργειακού χάσματος, παρασκεύασαν ένα διπλό υμένιο ZnO με ηλεκτροαπόθεση και το ευαισθητοποίησαν με την χρωστική N3. Η κυψελίδα που προέκυψε παρουσίασε απόδοση 5,08%, αρκετά μειωμένη σε σχέση με εκείνες που προκύπτουν από ηλιακές κυψελίδες TiO₂ οι οποίες έχουν ευαισθητοποιηθεί από την ίδια χρωστική .

Την ίδια χρονιά, ο Jonavonvski και οι συνεργάτες του παρασκεύασαν μια ηλιακή κυψελίδα TiO₂ χρησιμοποιώντας τον πρωτότυπο ιοντικό ηλεκτρολύτη 1-methyl-3-[3-(trimethoxy-λ-silyl)propyl]-1H-imidazolium iodide. Η απόδοση που παρουσίασε αυτή η κυψελίδα ήταν της τάξεως του 3,2%.

Το 2007, ο Huang και οι συνεργάτες του χρησιμοποίησαν συμπαγή σφαιρίδια άνθρακα για την παρασκευή του αντιηλεκτροδίου u956 μιας κυψελίδας TiO₂, η οποία είχε πανομοιότυπα χαρακτηριστικά με εκείνη που παρασκεύασαν ο Hagfeldt και οι συνεργάτες του το 1994. Η απόδοση που παρουσίασε ήταν της τάξεως του 5,7% .

Το 2008, οι Murakami και Grätzel, θέλοντας να μειώσουν το κόστος παρασκευής του αντιηλεκτροδίου και να διατηρήσουν ταυτόχρονα σε υψηλές τιμές την απόδοση της κυψελίδας, παρασκεύασαν πληθώρα αντιηλεκτροδίων με

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

διαφορετικά υλικά ως καταλύτες. Η κυψελίδα TiO_2 που προέκυψε χρησιμοποιώντας ένα αντιηλεκτρόδιο άνθρακα το οποίο είχαν αποθέσει σε ένα φύλλο ανοξειδωτού ατσαλιού παρουσίασε τη μεγαλύτερη απόδοση και ήταν της τάξεως του 9,15% .

Ο Wu και οι συνεργάτες του απέθεσαν νανοσωματίδια πολυπυρόλης σε ένα αγώγιμο γυάλινο υπόστρωμα παρασκευάζοντας έτσι ένα πολυμερές αντιηλεκτρόδιο. Η κυψελίδα στην οποία χρησιμοποιήθηκε αυτό το αντιηλεκτρόδιο παρουσίασε απόδοση 7,66% .

Την ίδια χρονιά, ο Ito και οι συνεργάτες του παρασκεύασαν μια πανομοιότυπη ηλιακή κυψελίδα TiO_2 με εκείνη που παρασκευάστηκε το 1991 αντικαθιστώντας τον υγρό ηλεκτρολύτη με έναν ιοντικό και προσθέτοντας ένα πολυμερές υμένιο ως αντιανακλαστικό στρώμα στη δομή της. Η απόδοση που παρουσίασε ήταν αρκετά υψηλή της τάξεως του 10% .

Το 2009, ο Krašovec και οι συνεργάτες του παρασκεύασαν μια ηλιακή κυψελίδα χρησιμοποιώντας μια πρωτότυπη πάστα TiO_2 , την οποία αυτοί συνέθεσαν, και τον ιοντικό ηλεκτρολύτη 1-propyl-3-methyl-imidazolium iodide που βασιζόταν στην ακετονιτρίλη. Η απόδοση που παρουσίασε ήταν αρκετά υψηλή της τάξεως του 10,2% .

Την ίδια χρονιά, ο Sharma και οι συνεργάτες του παρασκεύασαν ένα gel ηλεκτρολύτη αναμειγνύοντας έναν υγρό ηλεκτρολύτη που περιέχει το οξειδοαναγωγικό ζεύγος (I/I_3^-), ακετονιτρίλη, 4-tert-butylpyridine και polyethelene oxide (PEO). Επίσης, αντικατέστησαν το λευκόχρυσο με το πολυμερές PEDOT:PSS το οποίο απέθεσαν σε γυάλινο αγώγιμο υπόστρωμα FTO με σκοπό την Παρασκευή ενός πολυμερούς αντιηλεκτροδίου. Για την ευαισθητοποίηση του υμενίου του TiO_2 χρησιμοποιήθηκαν οργανικές χρωστικές που ανήκουν στην κατηγορία του ξανθενίου. Η κυψελίδα στην οποία χρησιμοποιήθηκε η χρωστική Rose Bengal παρουσίασε τη μεγαλύτερη απόδοση της τάξεως του 2,76% .

5.3: ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΥΑΙΣΘΗΤΟΠΟΙΗΜΕΝΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΚΥΨΕΛΙΔΩΝ

5.3.1 ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

5.3.1.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ

Τα υποστρώματα τα οποία χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του ηλεκτροδίου και του αντιηλεκτροδίου μιας ευαισθητοποιημένης ηλιακής κυψελίδας, μπορεί να είναι άκαμπτα ή εύκαμπτα. Τα υποστρώματα αυτά, θα πρέπει να χαρακτηρίζονται από τις ακόλουθες ιδιότητες :

1. Μικρό πάχος, ώστε να μην απορροφάται μεγάλο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.
2. Διαφανή στην περιοχή του ορατού φάσματος, ώστε να περνά ανεπηρέαστη η προσπίπτουσα ακτινοβολία .
3. Αντοχή και σταθερότητα στις υψηλές θερμοκρασίες, καθώς για την παρασκευή του ηλεκτροδίου, καθώς επίσης και του αντιηλεκτροδίου, απαιτείται ανόπτηση στους 400 - 450 °C .
4. Καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, ώστε η αντίσταση στη μεταφορά των φορέων να είναι μικρή.
5. Η μεταφορά των ηλεκτρονίων από το υμένιο στο υπόστρωμα θα πρέπει να είναι δυνατή ενεργειακά .
6. Χαμηλό κόστος.

5.3.1.2 ΑΚΑΜΠΤΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Η παρασκευή του ηλεκτροδίου και του αντιηλεκτροδίου πραγματοποιείται πάνω στην επιφάνεια γυάλινων υποστρωμάτων, τα οποία είναι αγωγίμα. Πρόκειται για γυαλιά στη μια πλευρά των οποίων έχει γίνει απόθεση κάποιου κατάλληλου διαφανούς αγωγίμου οξειδίου (transparent conducting oxide, TCO). Τα αγωγίμα οξείδια, που αποτίθενται κυρίως στην επιφάνεια των γυάλινων υποστρωμάτων, είναι δύο ειδών:

1. Οξείδιο του ινδίου με προσμίξεις κασσίτερου $\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$, το οποίο φέρει την εμπορική ονομασία ITO. Τα υποστρώματα ITO έχουν υψηλό κόστος λόγω της παρουσίας του ινδίου, του οποίου η τιμή συνεχώς αυξάνεται αφού η εμφάνισή του στη φύση είναι περιορισμένη. Σε θερμοκρασίες δωματίου η αντίσταση του υποστρώματος είναι μικρή, σε υψηλότερες θερμοκρασίες όμως, παρατηρείται σημαντική αύξησή της.

2. Οξείδιο του κασσίτερου με προσμίξεις ιόντων φθορίου $\text{SnO}_2:\text{F}$ (FTO). Τα γυαλιά στα οποία έχει γίνει απόθεση FTO φέρουν την εμπορική ονομασία K – glass. Είναι χημικά σταθερότερα σε υψηλές θερμοκρασίες σε σχέση με το ITO και έχουν μικρότερη αντίσταση. Ένα άλλο πλεονέκτημα του FTO είναι ότι απορροφά την ορατή ακτινοβολία πιο γρήγορα έναντι του ITO.

Τα γυάλινα υποστρώματα, που περιγράψαμε παραπάνω χαρακτηρίζονται από καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, δηλαδή έχουν αντίσταση της τάξης των 10 – 15 Ω ανά τετραγωνικό και καλή διαπερατότητα που φθάνει το 80 – 85 % στην περιοχή του ορατού φάσματος. Υψηλότερη αγωγιμότητα επιτυγχάνεται μειώνοντας τη διαπερατότητα και αντιστρόφως.

Ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των γυάλινων υποστρωμάτων είναι ότι είναι άκαμπτα και εύθραυστα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μεγάλης κλίμακας διατάξεις. Ένα δεύτερο μειονέκτημα είναι το υψηλό κόστος των δύο υποστρωμάτων που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή της κυψελίδας και το οποίο αγγίζει το 60% του ολικού κόστους του ευαισθητοποιημένου ηλεκτροχημικού κελιού.

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Ένα τρίτο διαφανές αγώγιμο οξείδιο, το οποίο αποτίθεται σε γυάλινα υποστρώματα, είναι το οξείδιο του ψευδαργύρου με διάφορες προσμίξεις ZnO, όπως Al και Ag. Τα γυάλινα αυτά υποστρώματα δεν χρησιμοποιούνται μαζικά, όπως τα άλλα δύο που περιγράψαμε παραπάνω, αφού η τεχνολογία τους βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη .

Η απόθεση των οξειδίων πάνω στην επιφάνεια των γυάλινων υποστρωμάτων γίνεται με διάφορες τεχνικές, όπως sputtering, απόθεση sol – gel, χημική εξάχνωση ατμών (chemical vapor deposition), spray coating και spray pyrolysis .

5.3.1.3 ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΑ

Η παρασκευή του ηλεκτροδίου και του αντιηλεκτροδίου μπορεί να πραγματοποιηθεί εναλλακτικά πάνω στην επιφάνεια εύκαμπτων αγώγιμων υποστρωμάτων. Τα πλεονεκτήματα των εύκαμπτων υποστρωμάτων έναντι των γυάλινων είναι τα ακόλουθα :

1. Χαμηλότερο κόστος παρασκευής.
2. Μικρότερο βάρος .
3. Μεγαλύτερη ευκολία στον τρόπο παρασκευής.
4. Ευελιξία, η οποία δίνει τη δυνατότητα χρήσης σε ποικίλες εφαρμογές.
5. Διάρκεια στο χρόνο και συμβατότητα με το περιβάλλον .

Τα βασικότερα μειονεκτήματα των εύκαμπτων υποστρωμάτων είναι η μη καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα που τα χαρακτηρίζει, καθώς και η θερμική αστάθεια που παρουσιάζουν σε υψηλές θερμοκρασίες. Όμως, για την παρασκευή του ηλεκτροδίου απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες (450 °C), στις οποίες τα εύκαμπτα υποστρώματα καταστρέφονται. Για το λόγο αυτό, η παρασκευή ηλεκτροδίων σε εύκαμπτα υποστρώματα γίνεται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες που φθάνουν τους 150 °C. Τα ηλεκτρόδια που προκύπτουν από αυτόν τον τρόπο παρασκευής παρουσιάζουν μειωμένες αποδόσεις έναντι εκείνων που παρασκευάζονται σε γυάλινα υποστρώματα. Οι λόγοι που επηρεάζουν την απόδοση της κυψελίδας είναι οι ακόλουθοι :

1. Δεν επιτυγχάνεται καλή ηλεκτρική επαφή μεταξύ των σωματιδίων, καθώς η ανόπτηση πραγματοποιείται σε χαμηλές θερμοκρασίες.
2. Δεν επιτυγχάνεται καλή πρόσφυση του υμενίου με την επιφάνεια του υποστρώματος .
3. Λόγω χαμηλών θερμοκρασιών, οι διάφορες οργανικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή του διαλύματος δεν καίγονται .
4. Παρατηρείται μειωμένη προσρόφηση της χρωστικής στο υμένιο .

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Τα πλαστικά υποστρώματα που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι πολυμερή υμένα στα οποία έχει γίνει απόθεση οξειδίου του ινδίου με προσμίξεις κασσιτέρου (ITO), όπως το ITO – PET, poly(ethylene terephthalate) , και το ITO – PEN, polyethylene naphthalate . Κατά τη διάρκεια της απόπτωσης των ηλεκτροδίων που έχουν παρασκευαστεί από τα παραπάνω υμένα, η θερμοκρασία δε θα πρέπει να ξεπερνά τους 150 °C , διότι τα υμένα σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες υφίστανται θερμική κατάπτωση (thermal degradation) και μειώνεται η διαπερατότητά τους . Το οξείδιο του κασσιτέρου με προσμίξεις φθορίου (FTO) δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα παραπάνω υμένα, γιατί η διαδικασία της απόθεσής του απαιτεί υψηλές θερμοκρασίες.

Οι Sommeling, Späth, Kroon, Kinderman και Roosmalen παρασκεύασαν ηλεκτρόδια TiO₂, χρησιμοποιώντας ως εύκαμπτο υπόστρωμα το ITO – PET. Η πάστα του TiO₂ που χρησιμοποίησαν δεν περιείχε οργανικά συστατικά, αφού η διαδικασία της απόπτωσης δεν μπορούσε να υπερβεί τους 150 °C και τα συστατικά αυτά δε θα καίγονταν σε τόσο χαμηλές θερμοκρασίες. Η απόδοση της κυψελίδας που προέκυψε ήταν μειωμένη σε σχέση με εκείνη που χρησιμοποιήθηκε γυάλινο υπόστρωμα, αλλά σταθερή .

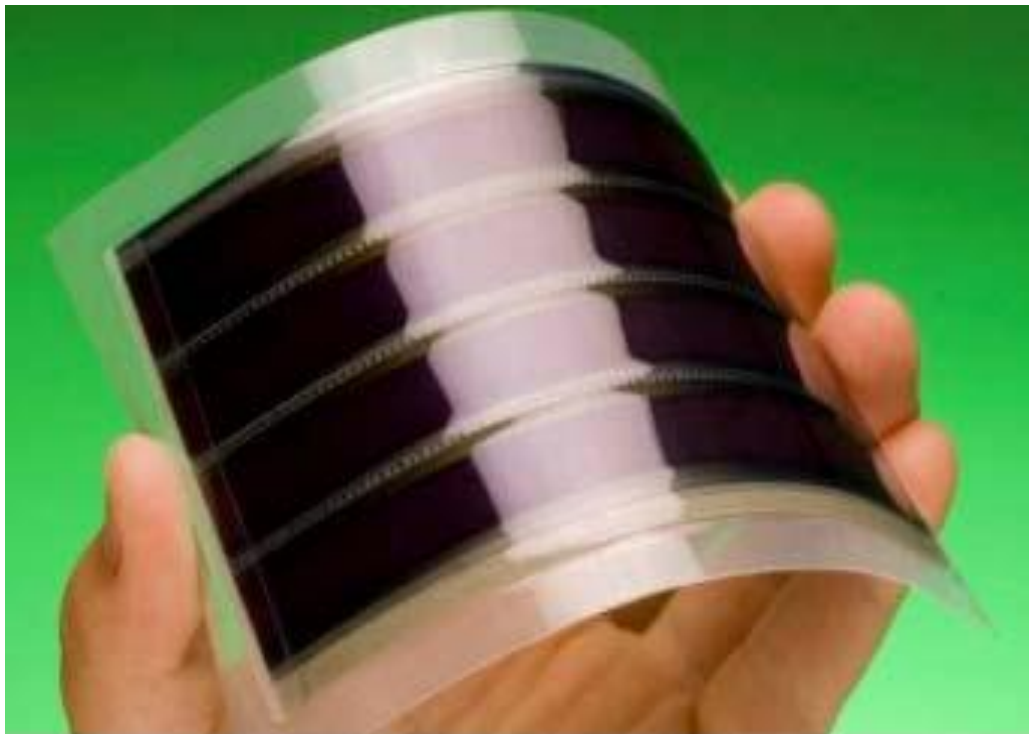
Επίσης οι Longo, Freitas και Paoli παρασκεύασαν ηλεκτρόδια TiO₂, χρησιμοποιώντας ως εύκαμπτο υπόστρωμα το ITO – PET. Όμως η πάστα που παρασκεύασαν περιείχε οργανικά συστατικά, τα οποία δε θα καίγονταν στις θερμοκρασίες που πραγματοποιείται η απόπτωσης τους. Για το λόγο αυτό, πρώτα δέχθηκαν υπεριώδη ακτινοβολία για διάφορα χρονικά διαστήματα και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε απόπτωση στους 140 °C. Η έκθεση των ηλεκτροδίων σε υπεριώδη ακτινοβολία προέκυψε από την ικανότητα της ανατάσης να μπορεί να αλλοιώνει και να αφαιρεί τις οργανικές ουσίες κάτω από τέτοιες συνθήκες. Τα υμένα που προέκυψαν από αυτή τη διαδικασία ήταν μηχανικά σταθερά, απορρόφησαν μεγάλη ποσότητα χρωστικής u954 και έδωσαν αποδόσεις της τάξεως του 0,32% .

Οι Kim, Yum και Sung παρασκεύασαν ηλεκτρόδια TiO₂ με μια επίστρωση ZnO σε υπόστρωμα ITO – PET. Η πάστα που παρασκεύασαν δεν περιείχε οργανικές ουσίες και τα ηλεκτρόδια εμποτίστηκαν στη χρωστική χωρίς να χρειαστεί να δεχθούν περαιτέρω επεξεργασία. Οι αποδόσεις που επετεύχθησαν κυμαίνονται μεταξύ των τιμών 0,71 – 1,21 % .

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Η παρασκευή των πλαστικών εύκαμπτων υποστρωμάτων γίνεται με την τεχνική roll – to – roll, η οποία υπόσχεται μείωση του κόστους κατασκευής μιας ευαισθητοποιημένης ηλιακής κυψελίδας . Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει την εκτύπωση (printing) δειγμάτων πάνω σε πλαστικά υποστρώματα με τη βοήθεια μιας "μάσκας" που λειτουργεί ως οδηγός. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η απόθεση του αγώγιμου υλικού στο υπόστρωμα που προέκυψε από την προηγούμενη διεργασία και τέλος απομακρύνονται οι "ανεπιθύμητες" περιοχές που δημιουργήθηκαν λόγω της "μάσκας".

Στην εικόνα που ακολουθεί βλέπουμε ένα εύκαμπτο πλαίσιο αποτελούμενο από τέσσερις κυψελίδες.



Εικόνα 5.3 : Εύκαμπτη κυψελίδα.

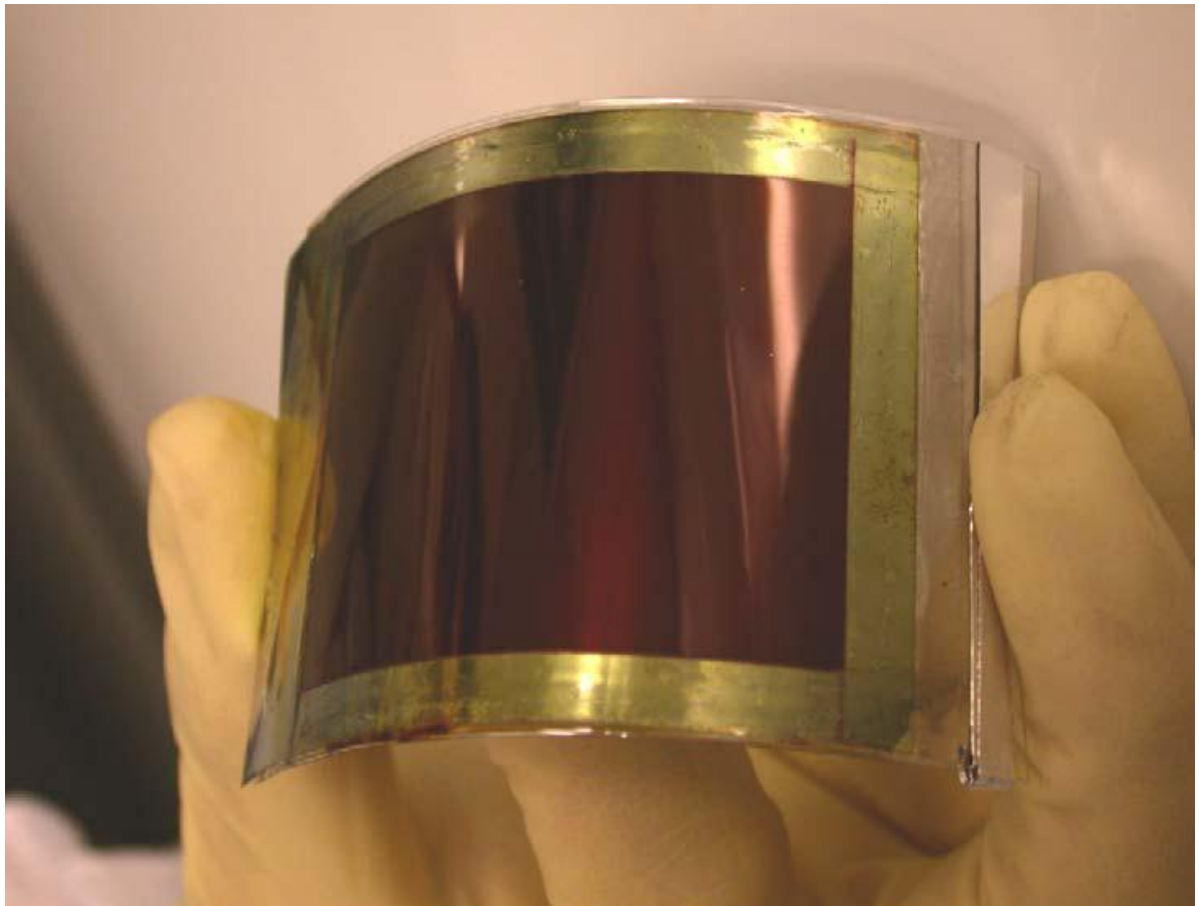
Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Εύκαμπτα υποστρώματα μπορούν επίσης να κατασκευαστούν με χρήση διαφόρων μετάλλων. Φύλλα μετάλλων, όπως ανοξείδωτο ατσάλι (stainless steel) και αλουμίνιο παρουσιάζουν άριστη ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα και έχουν χαμηλό κόστος. Αναμένεται λοιπόν, ότι η εφαρμογή ενός μεταλλικού υποστρώματος δε θα μειώσει μόνο το κόστος παρασκευής της κυψελίδας, αλλά και θα συνεισφέρει στη βελτίωση της απόδοσής της μειώνοντας την εσωτερική αντίσταση .

Οι Kang, Park, Ryu, Chang και Kim παρασκεύασαν ένα εύκαμπτο ηλιακό κελί χρησιμοποιώντας φύλλα από ανοξείδωτο ατσάλι για υπόστρωμα, εκμεταλλευόμενοι την σταθερότητά τους σε υψηλές θερμοκρασίες. Η απόδοση της κυψελίδας που προέκυψε ήταν 4,2 %, αρκετά υψηλή σε σχέση με εκείνες των πλαστικών υποστρωμάτων .

Εναλλακτικά, οι Onoda, Ngamsinlapasathian, Fujieda και Yoshikawa παρασκεύασαν ένα εύκαμπτο ηλιακό κελί χρησιμοποιώντας φύλλα τιτανίου Ti για υπόστρωμα, στο οποίο έγινε απόθεση TiO₂. Λόγω της καλής αγωγιμότητας του Ti, ελαχιστοποιείται η εσωτερική αντίσταση της κυψελίδας. Η απόδοση της κυψελίδας που προέκυψε ήταν 3,2 %, μεγαλύτερη από εκείνη στην οποία είχε χρησιμοποιηθεί FTO ως υπόστρωμα

Στην παρακάτω εικόνα βλέπουμε μία εύκαμπτη κυψελίδα, στην οποία έχει χρησιμοποιηθεί ανοξείδωτο ατσάλι ως u965 υπόστρωμα.



Εικόνα 5.4: Εύκαμπτη κυψελίδα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 :ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ – ΘΕΡΜΟΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ (PV/T)

6.1 Εισαγωγή στα PV/T

Το μεγαλύτερο μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία, δεν μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, αλλά σε θερμότητα, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας των φωτοβολταϊκών πλαισίων και κατά συνέπεια την μείωση της απόδοσής τους. Η «φυσική ψύξη» των φωτοβολταϊκών πλαισίων δεν επαρκεί για την μείωση της θερμοκρασίας τους σε σημείο που να μην επηρεάζεται η απόδοσή τους, εκτός και αν εφαρμοστούν συστήματα που υποβοηθούν την ψύξη. Η απαγωγή της θερμότητας από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, μπορεί να προσφέρει κατά κύριο λόγο δύο οφέλη. Το πρώτο σκέλος αφορά την μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας τους, και το δεύτερο και κυριότερο στην αύξηση της συνολικής ενεργειακής τους απόδοσης. Τα ηλιακά συστήματα που έχουν την δυνατότητα να παρέχουν τόσο ηλεκτρική όσο και θερμική ενέργεια είναι τα υβριδικά φωτοβολταϊκά / θερμικά (PV/T) συστήματα, τα οποία ονομάζονται και υβριδικά θερμο-φωτοβολταϊκά. Η τεχνολογία PV/T αναπτύσσεται τα τελευταία χρόνια με γοργούς ρυθμούς και προσφέρει συστήματα τα οποία αποτελούν αξιόπιστες λύσεις σε αρκετούς τομείς, στους οποίους είτε η θερμοκρασία περιβάλλοντος επηρεάζει την λειτουργία των κοινών φωτοβολταϊκών στοιχείων, είτε σε τομείς οι οποίοι χρειάζονται θερμικά φορτία. Τα υβριδικά θερμο-φωτοβολταϊκά συστήματα είναι απόρροια συνδυασμού κοινών φωτοβολταϊκών πλαισίων με ενσωματωμένη θερμική μονάδα απολαβής της θερμότητας. Τα εν λόγω φωτοβολταϊκά πλαίσια στηρίζονται στο ότι εντός της θερμικής μονάδας απολαβής κυκλοφορεί ένα εργαζόμενο μέσο.

6.2. ΕΙΔΗ PV/T

Η θερμική μονάδα απολαβής της θερμότητας όπως προαναφέρθηκε, στηρίζεται στην κυκλοφορία ενός εργαζόμενου μέσου και κατά βάση είναι το είδος που καθορίζει και την κατηγοριοποίηση του σε θερμο-φωτοβολταϊκά συστήματα αέρα και υγρού.

6.2.1. PV/T ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΕΡΑ

Η απαγωγή θερμότητας με κυκλοφορία αέρα βασίζεται στην εφαρμογή απλής διάταξης που επιτρέπει στον αέρα να κυκλοφορεί διαμέσου επιφανειών μεταξύ των πλαισίων ενός συστήματος, αλλά η ψύξη του φωτοβολταϊκού είναι λιγότερο αποδοτική. Όταν ο αέρας περιβάλλοντος έχει θερμοκρασία μεγαλύτερη των 20 °C , τα PV/T συστήματα αέρα έχουν περιορισμένες δυνατότητες. Κατά κανόνα μπορούν να εγκατασταθούν, χρησιμοποιώντας τον φυσικό αερισμό σε κτίρια, και με περιορισμό σε βιομηχανικές και αγροτικές διεργασίες. Η κυκλοφορία του αέρα σε αυτές τις διατάξεις γίνεται είτε με φυσική κυκλοφορία είτε με βεβιασμένη κυκλοφορία. Η φυσική κυκλοφορία είναι ο πιο απλός τρόπος να απομακρυνθεί η θερμότητα από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ούτως ώστε να μην ανεβαίνει με τόσο μεγάλο ρυθμό η θερμοκρασία τους, όπως στα κοινά πλαίσια.

6.2.2. PV/T ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΓΡΟΥ

Τα PV/T , όπως προαναφέρθηκε ανωτέρω, στηρίζονται στην απαγωγή θερμότητας με κυκλοφορία υγρού. Συνήθως πρόκειται είτε για νερό δικτύου, είτε για διάλυμα γλυκόλης,. Η επιλογή του εργαζόμενου μέσου εξαρτάται από τις μηχανικές αντοχές του συστήματος, το κόστος και τις απαιτήσεις χρήσεως του εν λόγω συστήματος. Πρόκειται για πιο ακριβή διαδικασία σε σχέση με την απαγωγή θερμότητας, και θεωρείται πιο πρακτική στις περιπτώσεις όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι μεγαλύτερη των 20 °C, λόγω του ότι η θερμοκρασία του δικτύου είναι κάτω από 20 °C όλη την διάρκεια του έτους, κυρίως σε χώρες με ήπιο ή θερμό κλίμα. Τα PV/T συστήματα υγρού φαίνονται πιο ελκυστικά λόγω της φύσης του ρευστού, που επιτρέπει καλύτερη εξαγωγή θερμότητας. Ο συνήθης τρόπος ψύξης του φωτοβολταϊκού με υγρό είναι η κυκλοφορία του διαμέσου διατάξεως που ονομάζεται εναλλάκτης θερμότητας και εφαρμόζεται στην πίσω επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Η απόδοση των PV/T εξαρτάται επίσης από την επιλογή του τύπου της μονάδας απαγωγής της θερμότητας που χρησιμοποιείται. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι η απόδοση στην συναλλαγή θερμικής ενέργειας από το φωτοβολταϊκό πλαίσιο καθορίζει την απόδοση μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας και της θερμότητας.

6.2.2.1 ΕΙΔΗ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ PV/T ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ ΥΓΡΟΥ

Οι κυριότερες κατηγορίες των υβριδικών θερμο-φωτοβολταϊκών συλλεκτών υγρού που κατηγοριοποιούνται με βάση την διάταξη τους, είναι οι ακόλουθοι υβριδικοί θερμο-φωτοβολταϊκοί επίπεδοι συλλέκτες (flat plate collectors) , υβριδικοί θερμο-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες με κανάλια (channel PV/T-collectors) , υβριδικοί θερμο-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες ελευθέρως ροής (free flow PV/T-collectors) και οι υβριδικοί θερμο-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες διπλής απορρόφησης (two-absorber PV/T-collectors).

- Υβριδικοί θερμο-φωτοβολταϊκοί επίπεδοι συλλέκτες (flat plate collectors)

Είναι οι πιο διαδεδομένοι και παρουσιάζουν μεγάλες ομοιότητες με τους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες. Η μόνη διαφορά τους είναι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια , τα οποία είναι προσαρτημένα στην κορυφή της απορροφητικής πλάκας.

- Υβριδικοί θερμο-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες με κανάλια (channel PV/T-collectors)

Πρόκειται για το είδος στο οποίο αντί για σωληνώσεις δημιουργούνται κανάλια εντός του συλλέκτη και κατά κανόνα πάνω από το επίπεδο του φωτοβολταϊκού πλαισίου. Οι περιορισμοί όμως που δημιουργούνται αφορούν τον τύπο του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί. Το απορροφητικό φάσμα του υγρού που θα χρησιμοποιηθεί θα πρέπει να είναι αρκετά διαφορετικό από το απορροφητικό φάσμα του φωτοβολταϊκού ώστε να επιτρέπει στο φωτοβολταϊκό να απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία. Στις συνήθεις εφαρμογές επιτρέπεται να χρησιμοποιείται νερό που έχει μικρή επικάλυψη της απορροφητικής ικανότητας του φωτοβολταϊκού. Το μειονέκτημα αυτού του τύπου είναι ότι εάν χρησιμοποιηθεί αρκετά πλατύ κανάλι, το γυάλινο κάλυμμα θα πρέπει να είναι μεγάλο και αρκετά παχύ για να αντέξει την πίεση του νερού. Πρόκειται για στιβαρή κατασκευή αυξημένου κόστους και βάρους.

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

- Υβριδικοί θερμο-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες ελευθέρως ροής (free flow PV/T-collectors)

Σε αυτούς τους συλλέκτες η ροή του νερού γίνεται πάνω από τον απορροφητή χωρίς περιορισμό. Σε σύγκριση με τους συλλέκτες PV/T με κανάλια, εδώ δεν υπάρχει το επιπλέον γυάλινο κάλυμμα. Κατά συνέπεια, η αντανάκλαση και το κόστος υλικών μειώνεται. Στον αντίποδα, το μειονέκτημα του είναι οι αυξημένες θερμικές απώλειες λόγω εξάτμισης. Επιπλέον, όπως και στην περίπτωση των ανωτέρω συλλεκτών με κανάλια, και εδώ θα πρέπει να εξασφαλίζεται ότι το υγρό που κυλάει πάνω από το φωτοβολταϊκό θα πρέπει να είναι διάφανο σε σχέση με το ηλιακό φάσμα που ενεργοποιεί το φωτοβολταϊκό φαινόμενο σε κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Η χρησιμοποίηση του νερού είναι μια λύση, όμως εφόσον η πίεση εξάτμισης δεν είναι πολύ χαμηλή. Η εξάτμιση έχει αποδειχτεί ότι προκαλεί προβλήματα όταν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή.

- Υβριδικοί θερμο-φωτοβολταϊκοί συλλέκτες διπλής απορρόφησης (two-absorber PV/T-collectors)

Πρόκειται για συλλέκτες οι οποίοι χρησιμοποιούν ένα διάφανο φωτοβολταϊκό φύλλο σαν κύριο απορροφητή, και μια μαύρη μεταλλική πλάκα σαν δεύτερο απορροφητή. Το σύστημα έχει δύο κανάλια το ένα πάνω στο άλλο. Η εισαγωγή του νερού γίνεται από το πάνω κανάλι και η επιστροφή από το κάτω κανάλι. Με αυτόν τον τύπο συλλέκτη ασχολήθηκε ο Hendrie στο εργαστήριο του MIT, όπου απέδειξε την υψηλή θερμική απόδοσή του. Παρόλα αυτά, οι επισημάνσεις που έγιναν προηγουμένως για το βάρος των καναλιών ισχύουν και εδώ. Η απόδοση του συστήματος αυτού μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας ένα διάφανο μονωτικό στρώμα ανάμεσα στο επάνω και το κάτω κανάλι, ώστε να μειωθούν οι θερμικές απώλειες, πράξη η οποία μειώνει την ικανότητα του συλλέκτη.

6.3 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Η συνολική παραγωγή ενέργειας από τα υβριδικά PV/T συστήματα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως η προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, η θερμοκρασία περιβάλλοντος, η ταχύτητα του αέρα, η μάζα του εργαζόμενου μέσου ο τρόπος κατασκευής, ο αριθμός και το είδος των επιπέδων, η θερμική αγωγιμότητα του απορροφητή, και του ρευστού.

6.4 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΙΧΜΗΣ

Τα φωτοβολταϊκά/θερμικά ηλιακά συστήματα, αποτελούν τις συσκευές, οι οποίες δημιουργήθηκαν ούτως ώστε «εκμεταλλευόμενες» την ηλιακή ακτινοβολία να παράγουν ηλεκτρικό και θερμικό φορτίο αξιοποιήσιμο και αποθηκεύσιμο, μειώνοντας τις απώλειες του εκάστοτε ενεργειακού συστήματος.. Οι έρευνες και τα στοιχεία των κατασκευαστών, φωτοβολταϊκών πλαισίων, έδειξαν ότι για κάθε αύξηση, της θερμοκρασίας πλαισίου πάνω από την τιμή των 25 °C, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ακολουθεί φθίνουσα πορεία κατά περίπου 0,5% ανά βαθμό Κελσίου. Ανάγοντας τα ανωτέρω σε ένα πιο κατανοητό, για το ευρύ κοινό, μέγεθος, μία συστοιχία φωτοβολταϊκών πλαισίων 10kWp , σε συνθήκες ελληνικής επικράτειας (55-75°C– Θερμοκρασία πλαισίου), θα υποστούν μία μείωση ισχύος περί του 15-25% από την ονομαστική τους απόδοση, και θα αποδίδουν περίπου, 7,5 kWp.

Η ερευνητική και κατασκευαστική κοινότητα, για να απαντήσει στις ανάγκες της μείωσης της απόδοσης συναρτήσει της θερμοκρασίας, έθεσε τις βάσεις για την δημιουργία, όλων εκείνων των ηλεκτρομηχανολογικών διατάξεων, οι οποίες ρυθμίζουν την θερμοκρασία του φωτοβολταϊκού πλαισίου, στην τιμή που μπορεί να αποδώσει την μέγιστη ισχύ τηρουμένων των αναλογιών. Η εν λόγω ρύθμιση της θερμοκρασίας γίνεται με την απαγωγή της θερμότητας, η οποία κατά ένα ποσό, μπορεί να υποβοηθήσει συστήματα θέρμανσης, να εξασφαλίσει την ποσότητα ζεστού νερού χρήσης για τις εκάστοτε ανάγκες και να καλύψει μέρος των αναγκών σε θερμικόφορτίο.

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Χρησιμοποιώντας PV/T , σύμφωνα με έρευνες από το NSTF, πραγματοποιώντας, μείωση της θερμοκρασίας του φ/β πλαισίου κατά 10 έως 20 °C, μπορεί να αυξήσει, την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος κατά 5-10%. Δηλαδή για μία συστοιχία 10 kWp, η οποία όπως προαναφέρθηκε λόγω αυξημένης, θερμοκρασίας αποδίδει 7,5 kWp μπορεί να εξασφαλίσει 0,5 – 1 kWp επιπλέον.

6.5 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

Εφαρμόζοντας την τεχνολογία, PV/T, σε φωτοβολταϊκούς σταθμούς, μπορεί να επιτευχθεί η διατήρηση της θερμοκρασίας των πλαισίων σε θερμοκρασία κάτω των 45 °C αυξάνοντας την συνολική απόδοση του συστήματος.

Η ηλεκτρική απόδοση ενός PV/T σταθμού συγκρίσει ενός PV σταθμού, έχει υπολογιστεί, ότι κυμαίνεται από 10 έως 30% παραπάνω, καθιστώντας την ηλεκτροπαραγωγή από συστήματα PV/T, αποδοτικότερη.

Αξιοσημείωτη είναι η χρήση τους σε εγκαταστάσεις με σύστημα ηλιακής ιχνηλάτησης (solar trackers), λόγω του ότι, η θερμοκρασία των πλαισίων διατηρείται σε υψηλότερα επίπεδα για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Επίσης ενδείκνυται ιδιαίτερα στην νότια Ελλάδα λόγω ότι έχει την δυνατότητα να πετύχει καλύτερα αποτελέσματα, και να εκμεταλλευτεί την μεγάλη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να αποδοθεί, λόγω της έντονης ηλιοφάνειας. Συστήματα PV/T, μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας κάθε τύπου φωτοβολταϊκά πλαίσια (μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά και Thin Film PV modules). Αν και δεν έχει εμφανιστεί ακόμη στην βιβλιογραφία συνδυασμός PV/T με οργανικά PV, θεωρείται από τους συγγραφείς εφικτό εγχείρημα.

6.6 ΟΙΚΙΑΚΟΣ-ΚΤΙΡΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ

Οι χώροι οι οποίοι μπορούν να φιλοξενήσουν συστήματα συλλογής και μετατροπής ηλιακής ενέργειας είναι οι ακόλουθοι, οροφές κατοικιών, ξενοδοχείων, νοσοκομείων, αθλητικών κέντρων κ.α.. Λόγω των περιορισμένων διαθέσιμων χώρων συχνά οι δύο τεχνολογίες (Φωτοβολταϊκή και Ηλιακή θερμική) ανταγωνίζονται η μία την άλλη. Ο ανταγωνισμός αυτός ο οποίος είναι ανούσιος υπό το πρίσμα της εξοικονόμησης ενέργειας, δημιούργησε τις προϋποθέσεις της συνένωσης των δύο τεχνολογιών στην ιδέα των PV/T.

Τα συστήματα PV/T, μετατρέπουν ταυτόχρονα, την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, σε ηλεκτρισμό και θερμότητα. Ένα οικιακό PV/T σύστημα, μπορεί να πετύχει βελτίωση της ηλεκτρικής ενέργειας των φωτοβολταϊκών πλαισίων κατά 10 έως 30% και επιπρόσθετα την παραγωγή θερμικής ενέργειας, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να υποβοηθήσει την θέρμανση νερού χρήσης (50 liters / cap / day). Το υπόλοιπο θερμικό φορτίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην ενδοδαπέδια θέρμανση, η οποία απαιτεί, θερμοκρασίες περίπου, 35-45 °C.

Στην Ελλάδα, λαμβάνοντας υπόψιν, την ΚΥΑ 12323/2009, για τα φωτοβολταϊκά στις στέγες καθώς και την ΚΥΑ , για τα θερμοσιφωνικά συστήματα , οι οποίες ορίζουν ότι πέραν της εγκατάστασης φωτοβολταϊκών πλαισίων για ηλεκτροπαραγωγή, απαιτείται και ηλιακός θερμοσίφοντας. Το άνωθεν, στοιχείο περιορίζει τον χώρο εγκατάστασης. Με βάση τα προαναφερθέντα προτείνεται ανεπιφύλακτα, η χρήση PV/T. Ένα επιπρόσθετο όφελος στον οικιακό τομέα, έγκειται στην άμεση, χρησιμοποίηση του θερμικού φορτίου των PV/T συσκευών.

Η αγορά θερμικών ηλιακών συστημάτων έχει σταθεροποιηθεί στις 150.000 με 220.000 m² ετησίως, και η συνολική εγκατεστημένη επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών είναι περίπου 3.500.000 m². Εάν εφαρμοστούν συστήματα PV/T , αντί των ηλιακών συλλεκτών, θα υπάρξει διπλό όφελος. Το πρώτο όφελος θα προέλθει από την εξοικονόμηση θερμικής ενέργειας της τάξεως των 2.450 GWh ανά έτος και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, περίπου 420GWh ανά έτος. Τα προαναφερθέντα οφέλη, θα υποβοηθούσαν την Ελλάδα ούτως ώστε να επιτύχουν τους εθνικούς στόχους για ηλεκτροπαραγωγή από Α.Π.Ε. της τάξεως του *40.1% έως το 2020.

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Επιπλέον τα συστήματα PV/T , μπορούν να απαντήσουν στις ανάγκες του νέου νομοσχεδίου που ψηφίστηκε τον μήνα Απρίλιο, για την εξοικονόμηση ενέργειας και την έκδοση πιστοποιητικού ενεργειακής ταυτότητας, στα κτήρια. Η τεχνολογία των PV/T, δίνει την δυνατότητα για «ηλιακή ψύξη» το καλοκαίρι με την χρήση διατάξεων ψύξης απορρόφησης/προσρόφησης και θέρμανσης τον χειμώνα, εξοικονομώντας μέχρι και 100% ηλεκτρικής και 50% θερμικής κατανάλωσης ενέργειας.

6.7 ΚΟΣΤΟΣ

Το κόστος των PV/T, είναι περίπου 25% αυξημένο συγκρίσει με τα απλά συστήματα φωτοβολταϊκών, ωστόσο παράγουν ενέργεια αξιοποιήσιμη, έως και 300% παραπάνω. Οι εταιρείες οι οποίες κατασκευάζουν και εμπορεύονται συστήματα PV/T είναι οι ακόλουθες, Everlight, Solar Wall, Millenium Electric, Zen-International, Menova, Arontis, Fototherm, Solar Zentrum Allgau, IDS AG, PVT Solar, SunDrum Solar, Entech Solar.

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών



Εικόνα 6.1

Η ηλεκτρική απόδοση ενός PV/T σταθμού συγκρίσει ενός PV σταθμού, έχει υπολογιστεί, ότι κυμαίνεται από 10 έως 30% παραπάνω, καθιστώντας την ηλεκτροπαραγωγή από συστήματα PV/T, αποδοτικότερη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. J. Perlin , Από το διάστημα στη Γη : Η Ιστορία του Ηλιακού Ηλεκτρισμού .
Harvard University Press : Cambridge , MA , 2002
2. Φωτοβολταϊκή Τεχνολογία, Κ. Καγκαράκη,
καθηγητή Ε.Μ. Πολυτεχνείο, εκδόσεις συμμετρία, 1992, Αθήνα
3. Εισαγωγή στην Πυρηνική Φυσική, Στεφάνος Χ. Χαραλάμπους Καθηγητης
Α.Π.Θ. , εκδόσεις Ζήτη 1981 Θεσσαλονίκη
4. Φυσική, Θάνος Δημοσθένους, Παπαχρήστου Παναγιώτης, Σκουντζος
Παναγιώτης Ο.Ε.Δ.Β για τη δεύτερη τάξη του 1ου κύκλου του Τ.Ε.Ε
5. Φυσική, Θερμότητα – Ηλεκτρισμός, Δ.Σ. Κυριάκος, αναπληρωτής
καθηγητής, Γ.Λ. Μπλέρης, καθηγητής τμήματος Φυσικής Α.Π.Θ. εκδόσεις Ζήτη
1998 Θεσσαλονίκη
6. Αρχές Γενικής Χημείας Γ Μανουσάκη, Π Ασλανίδη, Χ Μπόλου καθηγητές
τμήματος Χημείας Α.Π.Θ., 1994 Θεσσαλονίκη
7. Electronic Principles, Fifth Edition, Malvino, εκδόσεις Α. Τζιόλα, 1995
Θεσσαλονίκη
8. Γενική Ηλεκτρονική τόμος Α Κ.Α. Καρύμπακας, Καθηγητής της
Ηλεκτρονικής της Σ.Θ.Ε. του Α.Π.Θ. 1988 Θεσσαλονίκη
9. Γενικά ηλεκτρονικά, Εμμανουήλ Γ. Τσαγανάκη , Ίδρυμα Ευγενιδίου ,β
έκδοση, 1995 Αθήνα
10. Εισαγωγή στην Ατομική και Μοριακή Φυσική Σ. Χαραλάμπους
καθηγητής Α.Π.Θ. εκδόσεις Ζήτη, 1996 Θεσσαλονίκη
11. Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για δυνητικούς χρήστες, Σύνταξη
Τομέας εκπαίδευσης ΚΑΠΕ, 2006 Αθήνα
12. Τεχνολογίες Παραγωγής Φωτοβολταϊκών Γεννητριών Κρυσταλλικού
Πυριτίου και Λεπτών Υμενίων και η τρέχουσα κατάσταση στην αγορά
Φωτοβολταϊκών
Σ. Τσελεπής ΚΑΠΕ Η Εφαρμογή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας -
Προτεραιότητες σε Συνθήκες Απελευθερωμένης Αγοράς ", 19 – 21 Μαρτίου 2001
Αθήνα

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

13. Photovoltaic energy electricity from the sun European Photovoltaic Industry Association , Published in the frame of the RESTMAC project Creating Markets for Renewable Energy Sources' financed by the 6th European Framework Programme for Research
14. 23% Module and other silicon solar cell advances., Green, M. A., Zhao, J., Wang, A. 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion, Vienna, 1998 Austria
15. Solar Generation IV Solar electricity for over one billion people and two million jobs by 2020 Crispin Aubrey - European Photovoltaic Industry Association– 2007
16. Πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις στις ΑΠΕ
Π. Χαβιαρόπουλος, Π. Βιώνης, Α. Δημούδη, Κ. Καρύτσας, Γ. Λεμονής, Ν. Λυμπερόπουλος, Κ. Πανούτσου, Χ. Πρωτογερόπουλος Εφαρμογή των Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας- Προτεραιότητες σε συνθήκες ελεύθερης αγοράς 19 ως 21 Μαρτίου 2001 Αθήνα
17. Ribbon Si solar cells with efficiencies over 18% by hydrogenation of defects Dong Seop Kim, Vijay Yelundur, Kenta Nakayashiki, Brian Rounsaville, Vichai Meemongkolkiat, Andrew M. Gabor and Ajeet Rohatgi Solar Energy Materials and Solar Cells Volume 90, Issue 9
18. www.californiasolarcenter.org/history.html
19. <http://renewable.greenhouse.gov.au/technologies/pv/html>
20. <http://www.elke.teicrete.gr>
21. <http://www.infogenesis.gr>
22. <http://nefeli.lib.teicrete.gr>
23. <http://edu.demokritos.gr>
24. <http://invenio.lib.auth.gr>
25. Κούζιλος Γιώργος , Αλέξανδρος Αθανασίου – Ιωάννου. Οργανικά Φωτοβολταϊκά, περιοδικό Ecotec, τεύχος 52
26. Agrell H. Interactions in Dye-Sensitized Solar Cells. Comprehensive summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 901, 2003.

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

27. Grätzel M, Durrant J. Nanostructured and photoelectrochemical systems for solar photon conversion. 2008, Κεφ. 8, Τομ. 3
28. Wu J, Ku C, Chen G, Yang H. Applied Physics Letters. 2007, Τομ. 91
29. Arakawa H, Hara K. Semiconductor photochemistry and photophysics. 2003, Κεφ.4, Τομ. 10
30. Arakawa H, Hara K. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering. 2003,Κεφ. 25
31. Φασματοσκοπικός Χαρακτηρισμός Φωτοηλεκτροχημικών Ηλιακών Κυψελίδων, Στεργιόπουλος Θ. Πάτρα : Γενικό Τμήμα , 2006.
32. Gerischer H, Tributsch H. Ber. Bunsen. Phys. Chem. 1968, Τομ. 72
33. Tributsch H, Gerischer H. Ber. Bunsen. Phys. Chem. 1969, Τομ. 73
34. Tsubomura H, Matsumura M, Nomura Y, Amamiya T. Nature. 1976, Τομ. 261
35. Nazeeruddin M.K, Péchy P, Grätzel M. Chem. Commun. 1997
36. Nazeeruddin M.K, Péchy P, Renouard T, Zakeeruddin S.M., Humphry-Baker R,Comte P, Liska P, Cevey L, Costa E, Shoklover V, Spiccia L, Deacon G.B.,Bignozzi C.A, Grätzel M. J. Am. Chem. Soc. 2001, Τομ. 123
37. Hagfeldt A, Didriksson B, Palmqvist T, Lindström H, Södergren S, Rensmo H,Lindquist S.E. Solar Energy Materials & Solar Cells. 1994, Τομ. 31
38. Kay A, Grätzel M. Solar Energy Materials & Solar Cells. 1996, Τομ. 44
39. Ma T, Fang X, Akiyama M, Inoue K, Noma H, Abe E. Journal of Electroanalytical Chemistry. 2004, Τομ. 574,
40. Wang P, Klein C, Humphry-Baker R, Zakeeruddin S.M., Grätzel M. AppliedPhysics Letters. 2005, Τομ. 86
41. Chen Z, Tang Y, Zhang L, Luo L. Electrochimica Acta. 2006, Τομ. 51, σσ. 5870 -5875.
42. Jovanovski V, Stathatos E, Orel B, Lianos P. Thin Solid Films. 2006, Τομ. 511-512
43. Huang Z, Liu X, Li K, Li D, Luo Y, Li H, Song W, Chen L, Meng Q.Electrochemistry Communications. 2007, Τομ. 9
44. Murakami T, Grätzel M. Inorganica Chimica Acta. 2008, Τομ. 361

Οργανικές ηλιακές κυψέλες και νέες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

45. Wu J, Li Q, Fan L, Lan Z, Li P, Lin J, Hao S. Journal of Power Sources. 2008,Τομ. 181
46. Ito S, Murakami T, Comte P, Liska P, Grätzel C, Nazeeruddin M.K, Grätzel M. Thin Solid Films. 2008, Τομ. 516
47. Krašovec U, Berginc M, Hočevar M, Topič M. Solar Energy Materials & Solar Cells. 2009, Τομ. 93
48. Sharma G.D., Balraju P, Kumar M, Roy M.S. Materials Science and Engineering B. 2009, Τομ. 162
49. Dej B, Tran A. The fabrication and testing of dye-sensitized thin film solar cells. 2007.
50. Kashiwa Y, Yoshida Y, Hayase S. Applied Physics Letters. 2008, Τομ. 92
51. Μελέτη και παρασκευή ευαισθητοποιημένων ηλεκτροχημικώνκυψελίδων – Οργανικά Φ/Β., Συρροκόστας Γ., Μεταπτυχιακή Διπλωματική εργασία, ΕργαστήριοΑνανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Πάτρα : Τμήμα Φυσικής, 2007.
52. Beyer W, Hüpkes J, Stiebig H. Thin Solid Films. 2007, Τομ. 516
53. Onoda K, Ngamsinlapasathian S, Fujieda T, Yoshikawa S. Solar Energy Materials & Solar Cells. 2007, Τομ. 91
54. Syrokostas G, Giannouli M, Yianoulis P. Renewable Energy. 2009, Τομ. 30
55. Granqvist C. Solar Energy Materials & Solar Cells. 2007, Τομ. 91
56. Kang M, Park N, Ryu K, Chang S, Kim K. Solar Energy Materials & Solar Cells.2006, Τομ. 90
57. Kim S, Yum J, Sung Y. Journal of Photochemistry and Photobiology A:Chemistry. 2005, Τομ. 171
58. Zhang D, Yoshida T, Furuta K, Minoura H. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry. 2004, Τομ. 164
59. Sommeling P, Späth M, Kroon J, Kinderman R, Roosmalen J. Flexible dye – sensitised nanocrystalline TiO₂ solar cells
60. Longo C, Freitas J, Paoli M. Journal of Photochemistry and Photobiology A:Chemistry. 2003, Τομ. 159