

ΟΡΓΑΝΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΜΕ ΕΥΕΛΙΞΙΑ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

Μαρία Τρυπαναγνωστοπούλου

Πανεπιστήμιο Πατρών

Ιωάννης Κούτσελας

Πανεπιστήμιο Πατρών

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο κτιριακός τομέας αποτελεί έναν από τους πλέον σημαντικούς και ενεργοβόρους τομείς παγκοσμίως. Η αρχιτεκτονική με τις παρεμβάσεις της στο σχεδιασμό, στα υλικά κατασκευής και στην ενσωμάτωση παθητικών και ενεργητικών συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας, έχει την δυνατότητα να ικανοποιήσει τις ανάγκες των κτιρίων για ηλεκτρισμό, θέρμανση, φυσικό φωτισμό και αερισμό, εξασφαλίζοντας την αναβάθμιση στην ποιότητας ζωής αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος. Οι ηλεκτρικές ανάγκες των κτιρίων μπορούν να καλυφτούν με τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας από τη χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων. Μέχρι τώρα τα πιο διαδεδομένα φωτοβολταϊκά είναι ο χώρος των φωτοβολταϊκών κυριαρχείται από τα φωτοβολταϊκά κύτταρα πυριτίου. Τελευταία, παρατηρείται αυξανόμενο ενδιαφέρον για τεχνολογίες που στηρίζονται στη χρήση νανοδομημένων οργανικών ή ανόργανων ημιαγωγών. Τα νανοκρυσταλλικά φωτοευαίσθητα ηλιακά κύτταρα με χρωστική είναι πολλά υποσχόμενες συνθετικές νανοτεχνολογίες που χρησιμοποιούν μια οργανική χρωστική για να απορροφούν το εισερχόμενο φως και να παράγουν διεγερμένα ηλεκτρόνια.

Στην παρούσα εργασία γίνεται αναφορά στις νέες αυτές τεχνολογίες φωτοβολταϊκών και παρουσιάζονται ορισμένες νέες διατάξεις που αναπτύχθηκαν στο Πανεπιστήμιο Πατρών. Περιγράφονται οι διαδικασίες εργαστηριακής παρασκευής φωτοευαίσθητων ηλιακών κυττάρων και περιλαμβάνεται μελέτη των επιμέρους υλικών για την σύνθεση των νέων διατάξεων. Τα φωτοβολταϊκά αυτά στοχεύουν στην αρμονική ενσωμάτωσή τους στο κτιριακό κέλυφος με ευελιξία στην εφαρμογή και δημιουργώντας ενδιαφέρουσες αισθητικά μορφές. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά, τα οποία επιτρέπουν καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, δεδομένου ότι παρασκευάζονται σε μια ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών και σχημάτων. Επιπλέον, μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στη φόρμα και την δυνατότητα διαφορετικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο πλανήτης μας τα τελευταία χρόνια αντιμετωπίζει σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα, τα οποία οφείλονται σε μεγάλο βαθμό στην εντατική χρήση των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα κτίρια σήμερα καταναλώνουν το 40% της συνολικής ενέργειας. Είναι φανερό ότι οι ενεργειακές ανάγκες συνεχώς θα αυξάνονται, αφού ο πληθυσμός της γης αυξάνεται με γοργούς ρυθμούς. Από την άλλη, η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του ανθρώπου πολλαπλασιάζει τις δραστηριότητές του, οι οποίες τελικά απαιτούν περισσότερη κατανάλωση ενέργειας. Η μόνη απάντηση που προς το παρόν διαφαίνεται ότι θα περιορίσει δραστικά αυτά τα περιβαλλοντικά προβλήματα, είναι η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε).

Στην περίπτωση των κτιρίων ο σχεδιασμός τους σύμφωνα με τις αρχές της βιοκλιματικής αρχιτεκτονικής, μπορεί να ελαχιστοποιήσει τις ενεργειακές τους ανάγκες, καταφέροντας να εξοικονομηθεί περισσότερο από το 50% της κατανάλωσης ενός συμβατικού κτιρίου. Η αρχιτεκτονική, με τις παρεμβάσεις της στο σχεδιασμό, στον τρόπο κατασκευής, στα υλικά κατασκευής και χρήσης, στην ενσωμάτωση παθητικών και ενεργητικών συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας, έχει την δυνατότητα να ικανοποιήσει τις ανάγκες των κτιρίων για ηλεκτρισμό, θέρμανση, φυσικό φωτισμό και αερισμό. Παράλληλα μπορεί να εναρμονίζεται με το φυσικό περιβάλλον, εξασφαλίζοντας την αναβάθμιση στην ποιότητας ζωής αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος. Η βιοκλιματική αρχιτεκτονική έχει τις ρίζες της στην παραδοσιακή αρχιτεκτονική πολλών λαών και είναι ικανή να προσφέρει στο σύγχρονο κτίριο λύσεις και ιδέες λειτουργικές, ενδιαφέρουσες αισθητικά και φιλικές προς το περιβάλλον. Όσον αφορά τις ηλεκτρικές ανάγκες των κτιρίων, μπορούν να καλυφτούν με την χρήση των φωτοβολταϊκών και αυτό αποτελεί σήμερα μια ενδιαφέρουσα – και σε ορισμένες περιπτώσεις και αναγκαία - τεχνολογική λύση, η οποία χρησιμοποιείται ολοένα και πιο συχνά και αποτελεί ένα σύμβολο οικολογικής συνείδησης. Τα φωτοβολταϊκά είναι μια τεχνολογία, η οποία βελτιώνεται διαρκώς, με αποτέλεσμα να γίνονται πιο οικονομικά και αποδοτικά.

2. ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού κατασκευής τους ή τον ιδιαίτερο τρόπο παρασκευής.

2.1 Κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά

2.1.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού Πυριτίου

Το βασικό υλικό είναι το μονο-κρυσταλλικό πυρίτιο. Το πάχος του υλικού είναι σχετικά μεγάλο. Τα εργαστηριακά φωτοβολταϊκά κύτταρα έχουν φθάσει σχεδόν σε αποδοτικότητα 24%, με τις εμπορικές μονάδες των κυττάρων τους να κυμαίνονται από 13 έως 16%. Το χρώμα των κυττάρων είναι συνήθως σκούρο μαύρο με μία ενιαία επίπεδη δομή [3].

2.1.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού Πυριτίου

Τα πολυ-κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κατασκευάζονται σε μεγάλες επιφάνειες. Συνήθως κόβονται σε τετραγωνικής μορφής στοιχεία και αποτελούνται από λεπτά επιστρώματα, πάχους 10 έως 50 μm . Στην επιφάνεια της κυψελίδας, διακρίνονται οι διαφορετικές μονο-κρυσταλλικές περιοχές. Γενικά, όσο μεγαλύτερες είναι οι διαστάσεις των μονο-κρυσταλλικών περιοχών του πολυ-κρυσταλλικού φωτοβολταϊκού στοιχείου, τόσο υψηλότερη είναι και η απόδοσή του, η οποία κυμαίνεται από 17% έως 20%, με τις εμπορικές μονάδες γύρω στο 12%-15%. Χαρακτηρίζεται από σχετικά υψηλή χρονική σταθερότητα. Το κόστος παρασκευής των πολυ-κρυσταλλικών είναι χαμηλότερο σε σχέση με το αντίστοιχο των μονο-κρυσταλλικών. Με την επιλογή κατάλληλου επιστρώματος δημιουργείται μία ποικιλία χρωματιστών φωτοβολταϊκών, με πιο διαδεδομένο χρώμα, το σκούρο μπλε, λόγω της καλύτερης απόδοσης που παρουσιάζει.

2.1.3 Φωτοβολταϊκά στοιχεία ταινίας (*Ribbon Silicon*)

Δημιουργία λεπτής ταινίας από τηγμένο υλικό. Πρόκειται για πολυ-κρυσταλλικό Πυρίτιο με απόδοση περίπου 13%. Η μέθοδος κατασκευής είναι υψηλού κόστους και προς το παρόν η βιομηχανική παραγωγή είναι περιορισμένη.

2.2 Φωτοβολταϊκά λεπτού φιλμ

2.2.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου Πυριτίου (*Amorphous ή Thin film Silicon*)

Η τεχνολογία των λεπτών επιστρώσεων (*thin films*) είναι θεωρητικά πολύ χαμηλού κόστους παραγωγής, εξαιτίας της μικρής χρησιμοποιούμενης μάζας υλικού. Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεται πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους. Η απόδοση των στοιχείων μειώνεται έντονα στα αρχικά στάδια φωτισμού τους, στα επίπεδα του 6 έως 8%. Σήμερα, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την παρασκευή σύνθετων φωτοβολταϊκών στοιχείων, με διαδοχικές ενώσεις δύο ή τριών στρωμάτων με διαφορετικό ενεργειακό χάσμα, με σκοπό την αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος, με απόδοση που φτάνει σε εργαστηριακά κύτταρα ~13%. Το ιδιαίτερο κατασκευαστικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα δημιουργίας διαδοχικών στοιχείων σε μεγάλες επιφάνειες πλαισίων.

2.2.2 Φωτοβολταϊκά στοιχεία άλλων υλικών, λεπτών επιστρώσεων

Φωτοβολταϊκά από δισεληνοϊδούχο χαλκό (CuInSe_2 ή CIS). Είναι ένα λεπτό πολυ-κρυσταλλικό υλικό, που έχει φθάσει σε εργαστηριακή απόδοση το 17,7%. Πλεονεκτεί στο χαμηλό κόστος κατασκευής του, αλλά σήμερα στην αγορά έχει χαμηλή απόδοση, γύρω στο 10%. Φωτοβολταϊκά από τελουριούχο κάδμιο (CdTe). Είναι ένα λεπτό πολυ-κρυσταλλικό υλικό, που προέρχεται από την

ηλεκτροαπόθεση. Παρέχει εξαιρετική εκμετάλλευση ηλιακού φάσματος, αλλά παρουσιάζει δυσκολία δημιουργίας μεταλλικών επαφών. Η απόδοσή του κυμαίνεται περίπου 7-8%. Φωτοβολταϊκά από αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs). Είναι ένα υλικό με κρυσταλλική δομή παρόμοιας αυτής του Πυριτίου, αλλά αποτελείται από στοιχεία Γαλλίου και Αρσενίου. Έχει την υψηλότερη ενεργειακή απόδοση, αλλά και υψηλό κόστος κατασκευής. Η απόδοση φτάνει στο 22%.

2.3 Διαφορετικού τύπου φωτοβολταϊκά

Μέχρι τώρα ο χώρος των φωτοβολταϊκών κυριαρχείται κυρίως από τα φωτοβολταϊκά κύτταρα πυριτίου. Τελευταία, παρατηρείται αυξανόμενο ενδιαφέρον για τεχνολογίες που στηρίζονται στη χρήση νανοδομημένων οργανικών ή ανόργανων ημιαγωγών. Τα ηλεκτροχημικά ή οργανικά κύτταρα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια, με την βοήθεια οργανικών συστημάτων. Τα πολυμερή ηλιακά κύτταρα (πλαστικά ηλιακά κύτταρα) είναι ένας τύπος των οργανικών φωτοβολταϊκών. Είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, η οποία εμφανίζεται με την μορφή λεπτού φιλμ. Τα οργανικά φωτοβολταϊκά βρίσκονται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο. Η αρχική τους μορφή ήταν υγρή και στην πορεία των ερευνών έφτασε σε πηκτή, παχύρρευστη μορφή. Οι ερευνητές προσπαθούν να κατασκευάσουν όσο πιο δυνατόν στερεά οργανικά στοιχεία, ώστε να μπορεί να σχηματιστεί το φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Λόγω της ρευστότητας της πρώτης ύλης (υγρό διάλυμα) τα οργανικά φωτοβολταϊκά παρουσιάζουν ευκαμψία. Επιπλέον, χαρακτηρίζονται από πολυχρωμία, λόγω των χρωστικών ουσιών στο διάλυμα.

Τα νανοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα ή αλλιώς τα ηλιακά κύτταρα κβαντικών τελείων είναι κύτταρα βασισμένα σε νανοκρυστάλλους. Η τεχνολογία των νανοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών εξελίσσεται με ραγδαίους ρυθμούς και διάφορα εργαστήρια στον κόσμο παρουσιάζουν νέες τεχνολογίες. Στο μέλλον τα φωτοβολταϊκά κβαντικών τελείων μπορούν να προσφέρουν διάφορα πλεονεκτήματα όπως ευκαμψία, χαμηλό κόστος και απόδοση έως και 65% [19].

Τα φωτοευαίσθητα ηλιακά κύτταρα (DSSC) είναι φωτοβολταϊκά βασισμένα σε νανοδιάστατο ημιαγωγό. Κύτταρα λεπτού φιλμ στα οποία ο ημιαγωγός βρίσκεται ανάμεσα στον φωτοευαίσθητοποιητή και τον ηλεκτρολύτη και βασίζονται στο φωτοηλεκτροχημικό φαινόμενο. Αυτό το χαμηλό κόστους σύστημα αναπτύχθηκε το 1991 από τον Michael Gratzel και τον Brian O'Regan στην Πολυτεχνική Σχολή της Λωζάνης [20].

3. ΦΩΤΟΕΥΑΙΣΘΗΤΑ ΗΛΙΑΚΑ ΚΥΤΤΑΡΑ ΜΕ ΧΡΩΣΤΙΚΗ ΟΥΣΙΑ

Τα νανοκρυσταλλικά φωτοευαίσθητα ηλιακά κύτταρα με χρωστική είναι συνθετικές νανομηχανές που βασίζονται πάνω στις αρχές της φωτοσύνθεσης για να παράγουν ενέργεια. Χρησιμοποιούν μια οργανική χρωστική ουσία για να απορροφούν το εισερχόμενο φως και να παράγουν διεγερμένα ηλεκτρόνια. Είναι ένας συνδυασμός οργανικών και ανόργανων συστατικών, τα οποία μπορούν να παραχθούν σε χαμηλό κόστος.

Καθώς η πάστα νανοκρυσταλλικών οξειδίων του τιτανίου εμβαπτίζεται σε φωτοευαίσθητη χρωστική ουσία, μετατρέπεται σε «φωτεινό σπόγγο», με επιφάνεια απορρόφησης του φωτός 1.000 φορές μεγαλύτερη του κλασικού ηλεκτροδίου του τιτανίου. Από το σύνολο της ηλιακής ενέργειας που δέχονται τα ηλιακά αυτά κύτταρα, μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια ως και το 10%.

3.1 Αρχή λειτουργίας

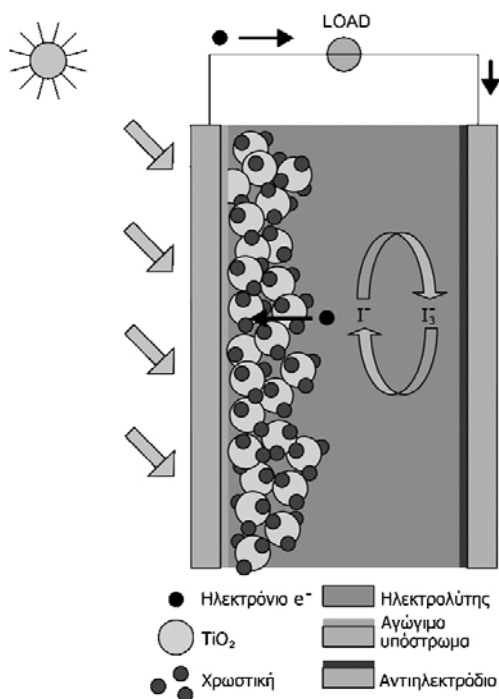
Το φωτοευαίσθητο ηλιακό κύτταρο DSSC είναι ένα νανοδομημένο υμένιο ημιαγωγού, σε επαφή με κατάλληλο ηλεκτρολύτη, τα οποία περικλείονται από αγωγή πλακίδια. Ειδικότερα, αποτελείται από ένα διαφανές αγωγίμο υπόστρωμα, το ηλεκτρόδιο, προσανατολισμένο στην φωτεινή πηγή, στο οποίο εναποτίθεται ένα λεπτό υμένιο ημιαγωγού. Ο ημιαγωγός που χρησιμοποιείται συνήθως είναι TiO_2 , ωστόσο, εκτεταμένη έρευνα γίνεται και σε άλλους ημιαγωγούς, όπως ZnO και Nb_2O_5 . Στην επιφάνεια του ημιαγωγού προσροφάται ένα μονομοριακό στρώμα χρωστικής ουσίας και σε επόμενο στρώμα τοποθετείται ένας ηλεκτρολύτης.

Όταν το φως προσπέσει στα μόρια της χρωστικής αυτά διεγείρονται, με αποτέλεσμα τη μεταφορά ενός ηλεκτρονίου στη ζώνη αγωγιμότητας του ημιαγωγού με την παράλληλη οξείδωσή της. Η χρωστική επανέρχεται στην ουδέτερη κατάσταση με την προσφορά ενός ηλεκτρονίου από τον ηλεκτρολύτη. Ο ηλεκτρολύτης αποτελείται συνήθως από έναν οργανικό διαλύτη που περιέχει κάποιο οξειδοαναγωγικό σύστημα όπως το ζεύγος $I-I_3^-$ (iodide triiodide). Η αναγέννηση της χρωστικής γίνεται από το ιωδίδιο (iodide), εμποδίζοντας εκτός των άλλων, την εκ νέου σύλληψη του ηλεκτρονίου από την οξειδωμένη χρωστική. Με τη σειρά του το ιωδίδιο επαναδημιουργείται εξαιτίας της αναγωγής του τριϊωδίου στο αντιηλεκτρόδιο και το κύκλωμα κλείνει με τη μεταφορά του ηλεκτρονίου μέσω εξωτερικού κυκλώματος, ενός δεύτερου αγωγίμου πλακιδίου, το αντιηλεκτρόδιο.

3.2 Υλικά στρωμάτων

Η καλύτερη λειτουργία του φωτοευαίσθητου ηλιακού κυττάρου, πραγματοποιείται με το δυνατόν καλύτερο συνδυασμό των υλικών – συστατικών του. Στην ανάπτυξη των υλικών σημαντικό ρόλο παίζουν οι ιδιότητες των πρωτογενών συστατικών, όπως η μορφολογία και οι επιφανειακές ιδιότητες του ημιαγωγού και στην χημική σύσταση του ηλεκτρολύτη. Παράλληλα, νέα εναλλακτικά υλικά και μέθοδοι παρασκευής των συστατικών, όπως του ηλεκτρολύτη ή πλαστικών υποστρωμάτων έρχονται στο προσκήνιο.

Τα συνήθη φωτοευαίσθητα ηλιακά στοιχεία αποτελούνται από ένα αγωγίμο γυαλί ως υπόστρωμα για να επιτυγχάνεται ηλεκτρική επαφή με το εξωτερικό κύκλωμα, ένα νανοδομημένο ημιαγωγό με προσροφημένη οργανική χρωστική ουσία ως φωτοευαίσθητοποιητής, ένα στρώμα ηλεκτρολύτη και ένα δεύτερο αγωγίμο γυαλί ως αντιηλεκτρόδιο για να κλείνει το κύκλωμα (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση φωτοευαίσθητου ηλιακού κυττάρου

3.2.1 Υποστρώματα

Τα υποστρώματα πρέπει να έχουν καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, να διευκολύνουν τις ηλεκτρικές επαφές με το εξωτερικό κύκλωμα και να αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες όταν ο τρόπος κατασκευής τους απαιτεί θέρμανση σε τέτοιες θερμοκρασίες.

Το ηλεκτρόδιο, πρέπει να είναι διαφανές και λεπτό, ώστε να μην απορροφά μεγάλο ποσοστό της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας, ενώ το αντιηλεκτρόδιο είναι ένα αγωγίμο πλακίδιο, στο οποίο γίνεται εναπόθεση ενός λεπτού στρώματος κυρίως λευκόχρυσου, ώστε να παίζει τον ρόλο της καθόδου.

Τα υποστρώματα μπορούν να κατασκευαστούν είτε άκαμπτα, είτε εύκαμπτα. Τα εύκαμπτα υποστρώματα πλεονεκτούν ως προς την ευκαμψία, την διαφάνεια, την ανθεκτικότητά τους σε θραύση, είναι επίσης ελαφρύτερα, έχουν μειωμένο κόστος, έχουν εύκολο τρόπο παρασκευής και έχουν ιδιαίτερα αισθητικά αποτελέσματα (η πλαστική μορφή προσφέρει ποικιλία εφαρμογών στο κτιριακό κέλυφος).

3.2.2 Ημιαγωγός

Ο ημιαγωγός είναι ένα υμένιο διαστάσεων 10-25 nm με μεγάλο ενεργειακό χάσμα ($>3\text{eV}$). Τα ημιαγωγίμα υμένια για φωτο-ευαίσθητες εφαρμογές πρέπει να έχουν μεγάλο πορώδες και μεγάλη εσωτερική επιφάνεια ώστε να μπορούν να προσροφηθούν περισσότερα μόρια χρωστικής. Αφού παρασκευαστεί η πάστα του ημιαγωγού, γίνεται η εναπόθεσή του με κατάλληλες τεχνικές σε νανοδιάστατα στρώματα και θερμαίνεται με αργούς ρυθμούς σε υψηλές θερμοκρασίες (από 300°C

έως 550°C), ώστε να αποκτήσει καλή ηλεκτρική επικοινωνία. Το πιο διαδεδομένο υμένιο ημιαγωγού που χρησιμοποιείται στην ανάπτυξη ημιαγώγιμων υμενίων για φωτο-ευαίσθητα ηλιακά κύτταρα είναι το διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2).

3.2.3 Ευαισθητοποιητής

Η ευαισθητοποίηση των DSSC γίνεται με την χρήση μιας χρωστικής ουσίας. Η χρωστική λειτουργεί ως ένα σύστημα μεταφοράς ηλεκτρονίων δότη-δέκτη με τον ημιαγωγό. Η λειτουργία της χρωστικής ουσίας στο σύστημα του φωτοευαίσθητου κυττάρου πραγματοποιείται με την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και την παραγωγή διεγερμένων ηλεκτρονίων, όπως ακριβώς γίνεται και στη φύση η διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Η καλή προσρόφησή της στον ημιαγωγό, κατά την βύθισή του στο διάλυμα της ουσίας, επιτυγχάνει σταθερότητα στο σύστημα και αυξάνει την ισχύ της ηλεκτρονικής σύζευξης μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να γίνεται ταχύτερος και αποδοτικότερος ο ρυθμός έγχυσης. Η χρωστική θα πρέπει να έχει ευρύ φάσμα απορρόφησης στο ορατό το οποίο να φθάνει τουλάχιστον μέχρι τα 920 nm. Οι οργανικές χρωστικές ουσίες γενικότερα έχουν εύκολο σχεδιασμό και χαμηλό κόστος. Όπως όλα τα οργανικά διαλύματα, παρουσιάζουν ασταθή συμπεριφορά στο φως, καθώς χάνουν σταδιακά τη φωτο-απορροφητική ικανότητά της.

3.2.4 Ηλεκτρολύτης

Ο ηλεκτρολύτης είναι το οξειδοαναγωγικό ζεύγος που λειτουργεί ως δότης ηλεκτρονίων και μεταφέρει το ηλεκτρικό φορτίο από το φωτοηλεκτρόδιο στο αντιηλεκτρόδιο. Βρίσκεται συνήθως σε έναν οργανικό διαλύτη και έχει τέτοια συγκέντρωση, ώστε να αναγεννά με υψηλή ταχύτητα την οξειδωμένη μορφή της χρωστικής μετά την μεταφορά των ηλεκτρονίων.

Βρίσκεται σε υγρή ή και σε απόλυτα στερεή μορφή. Τα πλεονεκτήματα των υγρών ηλεκτρολυτών είναι η πολύ καλή ηλεκτρική επαφή με τα νανοσωματίδια του TiO_2 και επιπλέον προσφέρουν καλή ιοντική αγωγιμότητα και σταθερότητα. Το σημαντικό τους μειονέκτημα είναι τα προβλήματα σταθερότητας της εξωτερικής θερμοκρασίας και η απαίτηση για σφράγισμα, ώστε να μην υπάρξει διαρροή.

3.3 Πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα

Προσφέρουν το πλεονέκτημα της χαμηλού κόστους κατασκευής, καθώς δεν απαιτούνται ειδικές και ενεργοβόρες συνθήκες. Επίσης, είναι ελαφριά και αρκετά ευέλικτα στην εφαρμογή ώστε να μπορούν να ενσωματωθούν εύκολα σε αρχιτεκτονικές εφαρμογές και να ακολουθήσουν διάφορες γεωμετρίες. Μπορούν να έχουν ευκαμψία, ποικιλία χρωμάτων και διαφάνεια.

Γενικά, τα κοινά εμπορικά φωτοβολταϊκά έχουν μεγαλύτερη απόδοση (τις τάξεις 12% με 15%) από τα DSSC τα οποία είναι συνήθως γύρω στο 8%. Όμως, κερδίζουν έδαφος με το να συλλέγουν

ενέργεια νωρίτερα το πρωί και αργότερα το απόγευμα, δηλαδή λειτουργούν σε χαμηλές συνθήκες φωτισμού και κάτω από συννεφιά καθώς και με το να έχουν την ίδια απόδοση είτε στους 65 βαθμούς Κελσίου είτε στους 25. Σύμφωνα με πρόσφατα στοιχεία επιτεύχθηκε τιμή απόδοσης φωτοευαισθητοποιημένων ηλιακών κυττάρων με χρωστική 8,2%, τα οποία έχουν ιδιαίτερη αντοχή στον ήλιο και στην θερμότητα, συνθήκες οι οποίες αυξάνουν το χρόνο ζωής τους. Μειονέκτημα αποτελεί η χρωστική ουσία, η οποία χάνει σταδιακά τη φωτοαπορροφητική της ικανότητα, επηρεάζοντας επομένως το χρόνο ζωής.

4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

Στο Τμήμα Επιστήμης των Υλικών του Πανεπιστημίου Πατρών, έγινε εργαστηριακή παρασκευή φωτοευαίσθητων ηλιακών κυττάρων, με σκοπό να παραχθεί αποδοτικό σύστημα με παραλλαγές στη σύσταση των υλικών και στον τρόπο παρασκευής.

4.1 Διαδικασία Παρασκευής δοκιμίων

Η παρασκευή ενός φωτοευαίσθητου ηλιακού κυττάρου πραγματοποιείται σε διάφορα στάδια και με διαφορετικούς τρόπους σύνθεσης. Τα βασικά βήματα παρασκευής του κυττάρου είναι η σύνθεση των υλικών που αναφέρθηκε προηγουμένως: υποστρώματα, ημιαγωγός, χρωστική και ηλεκτρολύτης. Παραλλαγές στην σύνθεση και στα συστατικά του κάθε διαλύματος δημιουργούν διαφορετικό αποτέλεσμα στο κάθε υλικό και κατά συνέπεια διαφορετικό τελικό προϊόν, με διαφορετικές ιδιότητες και αποδόσεις.

Στο εργαστήριο παρασκευάστηκαν δοκίμια χρησιμοποιώντας TiO_2 ως την ημιαγώγιμη μήτρα. Οι ευαίσθητοποιητές που χρησιμοποιήθηκαν ήταν: χρωστικές ουσίες του εμπορίου καθώς και υβριδικό σύστημα ενός νανοδιάστατου ημιαγωγού Pb_xI_y που βρίσκεται σε ερευνητικό επίπεδο σύνθεσης και χαρακτηρισμού στο εργαστήριο του Τμήματος Επιστήμης των Υλικών. Παράλληλα, έγιναν δοκιμές στη διαφορετική σύνθεση των συστατικών του TiO_2 , ώστε να παραχθεί υμένιο με μεγαλύτερη σταθερότητα στο υπόστρωμα. Επιπλέον, έγιναν πειράματα με διαφορετική σύνθεση του ηλεκτρολύτη, ώστε να γίνει το διάλυμα πιο πυκνό για να μην υπάρχουν διαρροές. Ακολούθησαν πειράματα με τη χρήση του οργανικού - ανόργανου ημιαγωγού και με τη χρήση του υβριδικού ημιαγωγού, μετρήθηκαν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φβ διατάξεων και διαπιστώθηκαν οι διαφορές ανάμεσα στους τρόπους σύνθεσης και συνθηκών κατασκευής.

4.2 Συμπεράσματα Πειραμάτων

Τα συμπεράσματα από τα πειράματα ήταν ότι ο υβριδικός ημιαγωγός ιωδιούχου μολύβδου πλεονεκτεί των άλλων δοκιμασθέντων φβ ως προς την διαφάνεια, την σταθερότητα και το χαμηλό

του κόστους. Όσον αφορά την απόδοση, τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά με δυνατότητα βελτίωσης, που αποτελεί και το αντικείμενο της εξέλιξης των εργαστηριακών δοκιμών.

5. ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΕΝΤΑΞΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΤΑ ΚΤΙΡΙΑ

Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, η έρευνα των φωτοβολταϊκών έχει φτάσει σήμερα σε ένα σημαντικό επίπεδο και συνεχίζει να εξελίσσεται, ώστε να βελτιώσει την απόδοσή τους, να μειώσει το κόστος κατασκευής τους και να δημιουργήσει νέες και ενδιαφέρουσες αισθητικά μορφές. Το φωτοβολταϊκό κύτταρο είναι ένα υλικό, το οποίο εκτός από το ότι παράγει ρεύμα, μπορεί να τοποθετηθεί στο κτίριο και να αντικαταστήσει τμήματα του περιβλήματός του. Πρόκειται για ένα νέο στοιχείο που έρχεται να ενταχθεί στην αρχιτεκτονική του κτιρίου.

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δομικά υλικά, τα οποία επιτρέπουν καινοτόμους αρχιτεκτονικούς σχεδιασμούς, δεδομένου ότι διατίθενται σε μια ποικιλία χρωμάτων, μεγεθών και σχημάτων. Επιπλέον, μπορούν να παρέχουν ευελιξία και πλαστικότητα στη φόρμα, ενώ δίνουν και δυνατότητα διαφορετικής διαπερατότητας του φωτός ανάλογα με τις ανάγκες του σχεδιασμού.

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να ενσωματωθούν σε πολλούς τύπους κτιρίων με διάφορους τρόπους. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα μεγάλο εύρος κτιρίων, από κατοικίες, σχολεία, κτίρια γραφείων και ξενοδοχεία, μέχρι και βιομηχανικά κτίρια. Η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων στα κτίρια έχει τον ίδιο ρόλο με τον παραδοσιακό τοίχο και τα στοιχεία οροφής, τα οποία αντικαθιστούν. Συνεπώς, τα φωτοβολταϊκά πρέπει να πληρούν διάφορες σχεδιαστικές προϋποθέσεις : εμφάνιση, προστασία από τις καιρικές συνθήκες και στεγανότητα, υλικά, φορτίο αέρα, ασφάλεια κατασκευής, κόστος.

Κατά τον σχεδιασμό, τα φωτοβολταϊκά επηρεάζουν κατά πρώτον, τον προσανατολισμό του κτιρίου, γιατί πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν ο νότιος προσανατολισμός του, κατά δεύτερον, την μελέτη κατασκευής του κτιρίου, ώστε να προβλεφθούν μέτρα για την θέση και την λειτουργία των φωτοβολταϊκών και τέλος, την μορφή του κτιρίου. Τα φωτοβολταϊκά προφανώς γίνονται σημαντικά στοιχεία του περιβαλλοντικού και κτιριακού συστήματος. Είναι αναγκαίο να θεωρηθούν σαν ένα ολοκληρωμένο μέρος της ενεργειακής στρατηγικής του κτιρίου και της λειτουργικότητας του.

5.1 Χρώμα

Η μεγάλη τεχνολογική εξέλιξη έχει επιτρέψει στον άνθρωπο τη δημιουργία χιλιάδων χρωματικών αποχρώσεων. Το χρώμα αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία κάθε αρχιτεκτονικής μελέτης, που δίνει μια διαφορετική διάσταση και αναδεικνύει το αρχιτεκτονικό έργο. Παράλληλα, αποτελεί ένα σημαντικό αισθητικό κριτήριο, διότι εντάσσεται στα γενικότερα χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής σύνθεσης.

Στην περίπτωση των φωτοβολταϊκών στοιχείων συναντάμε μια πολύ μεγάλη ποικιλία από χρώματα, ανάλογα με το υλικό και την επίστρωση του. Το χρώμα των μονο-κρυσταλλικών στοιχείων ποικίλει από σκούρο μαύρο σε σκούρο γκρι με μία ενιαία επίπεδη δομή. Αντίθετα, η δομή των πολυ-κρυσταλλικών στοιχείων παρουσιάζει μία μεγάλη ποικιλία χρωματιστών κρυστάλλων. Αντίστοιχα, τα οργανικά φωτοβολταϊκά, παρουσιάζουν ιδιαίτερη πολυχρωμία, αφού κατασκευάζονται από έγχρωμα υγρά διαλύματα. Η οργανική χρωστική ουσία, είναι βασικό στοιχείο στην κατασκευή τους και δεν αυξάνει το κόστος όπως στα κρυσταλλικά.

Το μειονέκτημα των φωτοευαίσθητων ηλιακών κυττάρων έγκειται στο ότι έχουν χαμηλότερη απόδοση και υψηλότερο κόστος σε σχέση με τα συνήθη φωτοβολταϊκά. Αν συλλογιστούμε όμως τις δυνατότητες που μας παρέχουν για μια διαφορετική και όχι μονότονη εμφάνιση του έργου, διαπιστώνουμε πόσο σημαντική είναι η χρήση τους στο κέλυφος των κτιρίων. Τα χρωματιστά φωτοβολταϊκά προσφέρουν στο κτίριο ενέργεια αλλά και χρώμα, κάτι που παίζει σπουδαίο ρόλο στην αρχιτεκτονική

5.2 Ευκαμψία

Τα φωτοβολταϊκά μπορούν να κατασκευαστούν σε ελαστικά και πλαστικά σχήματα, τα οποία προσφέρουν ένα ιδιαίτερο αισθητικό αποτέλεσμα. Προσαρμόζονται σε κάθε καμπύλη επιφάνεια και διαμορφώνονται ανάλογα με την μορφή του κελύφους του κτιρίου. Προσφέρουν μια ιδιαίτερη ποιότητα εμφάνισης και χαρακτηρίζονται από την ελαστικότητα του σχήματος. Μπορούν να πάρουν οποιαδήποτε μορφή, να χρησιμοποιηθούν ως επικάλυψη στέγης ή πρόσοψης και να προσφέρουν ένα ιδιαίτερο αισθητικό αποτέλεσμα. Προσφέρουν σύνθετες γεωμετρίες, λόγω της ελαστικότητάς τους, δημιουργούν για παράδειγμα μονή ή διπλή καμπυλότητα, η οποία δίνει την ελευθερία στον αρχιτέκτονα να δημιουργήσει ένα ακανόνιστο σχήμα.

Τα οργανικά φωτοβολταϊκά, λόγω της ρευστότητας της πρώτης ύλης, είναι από την φύση τους εύκαμπτα. Η κατασκευή των φωτοευαίσθητων ηλιακών κυττάρων από εύκαμπτο υπόστρωμα δίνει την δυνατότητα της ευκαμψίας της μορφής με ταυτόχρονα πλεονεκτήματα στο κόστος και στις μηχανικές ιδιότητες.

5.3 Διαπερατότητα

Το γυαλί αποτελεί αναγκαίο στοιχείο της αρχιτεκτονικής, γιατί καλύπτει τις ανάγκες του κτιρίου για φυσικό φωτισμό στο εσωτερικό του αλλά και ορατότητα του εξωτερικού περιβάλλοντος. Είναι ένα υλικό που αφήνει το φως να το διαπερνά, αλληλεπιδρώντας με το περιβάλλον, μ' έναν τρόπο μοναδικό. Τα φωτοβολταϊκά έχουν πλέον την δυνατότητα να αντικαταστήσουν ένα μέρος των αρχιτεκτονικών εφαρμογών του γυαλιού. Τα διαπερατά φωτοευαίσθητα ηλιακά κύτταρα, μπορούν να καλύπτουν τις ανάγκες για φυσικό φωτισμό και ορατότητα παράλληλα με την παραγωγή ενέργειας.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εξέλιξη των διάφορων τύπων των φωτοβολταϊκών, έδωσε μεγάλες δυνατότητες στην αρχιτεκτονική έκφραση. Η ποικιλία των χρωμάτων και των σχεδίων, οι γεωμετρικές μορφές και οι αναλογίες προκαλούν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Σημαντικό είναι, επίσης το γεγονός ότι τα φωτοβολταϊκά στοιχεία δίνουν μεγάλη γκάμα επιλογών σε αρχιτεκτονικές εφαρμογές. Δίνουν δηλαδή τη δυνατότητα στον αρχιτέκτονα να τα χρησιμοποιήσει με διάφορους τρόπους, ώστε να πετύχει έναν συνδυασμό αισθητικής και ενεργειακής απόδοσης. Όπως αναφέρει και ο Norman Foster «στην ποικιλία των φωτοβολταϊκών, δεν υπάρχουν όρια στην φαντασία των αρχιτεκτόνων» (Solar architecture is not about fashion – it is about survival).

Τα φωτοβολταϊκά αποτελούν την κύρια τεχνολογία ηλιακής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρισμού, ειδικά στον τομέα των κτιρίων και προβλέπεται να καλύψουν μεγάλο μέρος των αναγκών τους στα επόμενα χρόνια, με την ανάπτυξη νέων και πιο οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών. Η τεχνολογία των φωτοευαίσθητων ηλιακών κυττάρων, με τις μεθόδους παρασκευής και την ποικιλία των υλικών, δίνει τη δυνατότητα για μια επιτυχή εξέλιξη των φωτοβολταϊκών από πλευράς απόδοσης και κόστους. Βρίσκονται ακόμη στην αρχή της ανάπτυξής τους. Είναι όμως δυνατή η βελτίωση της απόδοσής τους και του χρόνου ζωής τους.

ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ/ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Περδίοις Σταμάτης (ΤΕΚΔΟΤΙΚΗ) (2007). Φωτοβολταϊκές Εγκαταστάσεις, Αθήνα
- Gauzin-Muller Dominique (Κτίριο) (2003), *Οικολογική Αρχιτεκτονική*, Θεσσαλονίκη
- Συρροκόστας Γιώργος (Τμήμα Φυσικής) (2007). Μελέτη και Παρασκευή Ευαίσθητοποιημένων Ηλεκτροχημικών Κυψελίδων – Οργανικά Φ/Β, Πανεπιστήμιο Πατρών
- Halme Janne, (Master's thesis) (2000). Dye-sensitized nanostructured and organic photovoltaic cells, Helsinki University of Technology
- Herzog Thomas (Prestel) (1996). *Solar Energy in Architecture and Urban Planning*, Munich
- Grätzel M. (2001). *Nature* 414, 338
- Brian O'Regan, Michael Grätzel (24 October 1991). "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films". *Nature* 353 (6346): 737–740
- Ismael C. Flores et al (2007). Dye-sensitized solar cells based on TiO₂ nanotubes and a solid-state electrolyte, *J. Phys. Chem. A* 189, 153–160