ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΙΑΦΑΝΕΙΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΙ ΥΑΛΟΠΙΝΑΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1649

ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΣ ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΡΟΥΣΣΟΣ ΑΓΓΕΛΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ

ПАТРА 2019

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι τα διαφανή φωτοβολταϊκά όλο και περισσότερο βρίσκουν που εφαρμογή αντικαθιστώντας τα κοινά παράθυρα και τζάμια σε οικιακές αλλά και σε ευρύτερες εφαρμογές προσόψεων κτιρίων. Επίσης χρησιμοποιούνται ευρέως πλέον και σε θερμοκήπια, στέγαστρα, ηλιοροφές και γενικά τείνουν να αντικαταστήσουν κάθε επιφάνεια που αποτελείται από κοινά τζάμια Προσφέρουν ένα πολύ καλό αισθητικό αποτέλεσμα μιας και η ποικιλία των χρωμάτων είναι μεγάλη, συνδυάζοντας και αποδοτικότητα με τεχνολογίες αιχμής που συνεχώς εξελίσσονται. Έρευνες διεξάγονται πάνω στον τομέα αυτό τόσο από πανεπιστημιακά ιδρύματα, όσο και από αυτόνομες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στο χώρο, με αποτέλεσμα να τροποποιούνται προς το καλύτερο τα χαρακτηριστικά τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι τα διαφανή φωτοβολταϊκά που όλο και περισσότερο βρίσκουν εφαρμογή αντικαθιστώντας τα κοινά παράθυρα και τζάμια σε οικιακές αλλά και σε ευρύτερες εφαρμογές προσόψεων κτιρίων. Επίσης χρησιμοποιούνται ευρέως πλέον και σε θερμοκήπια, στέναστρα, ηλιοροφές και γενικά τείνουν να αντικαταστήσουν κάθε επιφάνεια που αποτελείται από κοινά τζάμια Προσφέρουν ένα πολύ καλό αισθητικό αποτέλεσμα μιας και η ποικιλία των χρωμάτων είναι μεγάλη, συνδυάζοντας και αποδοτικότητα με τεχνολογίες αιχμής που συνεχώς εξελίσσονται. Έρευνες διεξάγονται πάνω στον τομέα αυτό τόσο από πανεπιστημιακά ιδρύματα, όσο και από αυτόνομες εταιρείες που δραστηριοποιούνται στο χώρο, με αποτέλεσμα να τροποποιούνται προς το καλύτερο τα χαρακτηριστικά τους.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα υλικά και τα χαρακτηριστικά των διαφανών ΦΒ στοιχείων καθώς και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται οι τρόποι σύνδεσης των διαφανών ΦΒ και οι παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοσή τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα υλικά και οι διαθέσιμες τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των διαφανών ΦΒ στοιχείων.

Τέλος στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο, γίνεται μια εκτενής παρουσίαση των προϊόντων στην κατηγορία των διαφανών ΦΒ που διατίθενται στην αγορά από εταιρείες. Καθίσταται σαφής η ποικιλία των προϊόντων τόσο σε επίπεδο εφαρμογών όσο και σε αισθητικό επίπεδο και παρουσιάζονται ταυτόχρονα οι μελλοντικές προοπτικές.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣΙ
ΠΕΡΙΛΗΨΗΙΙ
NEPIEXOMENA III
ΕΙΣΑΓΩΓΗ1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 15
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ
1.1 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Πυριτίου5
1.2 Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Single-crystal Silicon)5
1.3 Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Multicrystalline Silicon mc-Si)6
1.4 Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon)7
1.5 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Στοιχείου8
1.5.1 Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα Φωτοβολταϊκού Στοιχείου και Χαρακτηριστική Εξίσωση8
1.5.2 Ι-V Χαρακτηριστική Φωτοβολταϊκού Στοιχείου
1.5.3 Ο συντελεστής πλήρωσης <i>ff</i> (Fill Factor)11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2
ΔΟΜΗ, ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΩΝ
2.1 Απόδοση του ΦΒ στοιχείου12
2.2 Μετρήσεις ονομαστικής ισχύος φ/β πλαισίων στο εργαστήριο ΚΑΠΕ
2.3 Η Επίδραση της Θερμοκρασίας και της Ρύπανσης17
2.3.1 1. Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας
2.3.2 . Θερμοκρασία του Φ/Β στοιχείου – Θερμοκρασία περιβάλλοντος

2.3.3 . Επίδραση της σκόνης17
2.4 Η Ισχύς Αιχμής του Φωτοβολταϊκού Πλαισίου
2.5 Απώλεια ισχύος – Φαινόμενο ΗΟΤ SPOT19
2.6 Τρόποι διόρθωσης22
2.6.1 Στρατηγική παράλληλης/σε σειρά σύνδεσης κυττάρων 22
2.6.2 Δίοδοι παράκαμψης23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΙΑΦΑΝΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ25
3.1 Φωτοβολταικά κύτταρα λεπτού φίλμ (Thin film photovoltaics (TPVs))
3.2 Σχεδόν διαφανή ηλιακά πάνελ (Near-Infrared transparent solar cell0 27
3.3 Πολυμερές ηλιακό κύτταρο (Polymer solar cell (PSC))28
3.4 Διαφανής ηλιακός συγκεντρωτής φωταύγειας (Transparent luminescent solar concentrator (TLSC))
3.5 Ηλιακό κύτταρο περοβσκίτη (Perovskite)
3.6 Ηλεκτροφορητική εναπόθεση (Electrophoretic deposition (EPD))
3.7 Οργανικά Φωτοβολταϊκά32
3.7.1 Αρχή λειτουργίας32
3.7.2 Τύποι OPVs
3.7.3 Υλικά των Οργανικών Φωτοβολταϊκών Διατάξεων
3.7.4 Πώς συνδέονται μεταξύ τους οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες 40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΗΜΙΔΙΑΦΑΝΩΝ ΦΒ ΠΑΝΕΛ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ41
4.1 Ανάλυση της θερμικής και της ηλεκτρικής επίδοσης ενός ημιαδιαφανούς φωτοβολταικού μοντέλου

4.1.1	Τοποθέτηση και διασύνδεση των ηλιακών κυττάρων 43
4.1.2	Η περιγραφή του πειράματος44
4.1.3	Αποτελέσματα
4.1.4 εξωτερ	Αποτελέσματα της μέτρησης της θερμοκρασίας σε οικές συνθήκες
4.2 Ενε συγκροτ	εργειακή ανάλυση ημιδιαφανών ΦΒ πάνελ σε κτηριακά ήματα γραφείων55
4.2.1	Μετρήσεις
4.2.2	Χρήση του εξοπλισμού57
4.2.3	Φωτεινή ενέργεια57
4.2.4	Ηλιακή ακτινοβολία59
4.2.5	Παραγόμενη ισχύς60
ΚΕΦΑΛΑΙ	O 5
κάτασκε	ΥΑΣΤΡΙΕΣ ΕΤΑΙΡΙΕΣ ΔΙΑΦΑΝΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ 62
5.1 Η ε φωτοβολ	ταιρεία SolarWindow Technologies προωθεί τα διαφανή \ταΐκά της στην αγορά62
5.2 Ηε 68	ταιρεία Brite Solar και τα διαφανή φωτοβολταϊκά πάνελ της
5.3 Η ε διαφανεί	ταιρεία Polysolar μετατρέπει τα κοινά παράθυρα σε ίς ηλιακούς συλλέκτες71
5.3.1	Αρχή Λειτουργίας73
5.3.2	Εφαρμογές74
5.4 Τα	προϊόντα της εταιρείας star8 (Παράθυρα Solar Glass) 77
5.5 Ηε 20%ή3	ταιρεία Onyx Solar προσφέρει γυαλιά με διαφάνεια 10%, 0%78
5.6 Ηε PowerW	ταιρεία ΡΗΥSEE και το εντελώς διαφανές παράθυρο indow80
5.7 Ηε POWER	ταιρεία Ubiquitous Energy και η τεχνολογία CLEARVIEW ™ για παράθυρα

5.7.1	Πιλοτική παραγωγή	81
ΣΥΜΠΕΡ	ΑΣΜΑΤΑ	83
ΒΙΒΛΙΟΓΕ	ΡΑΦΙΑ	84

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύντομα το σπίτι μας θα είναι σε θέση να παράγει ηλιακή ενέργεια, όχι απαραίτητα από τη σκεπή/ταράτσα όπως συνηθίζεται μέχρι τώρα. Н αγορά των φωτοβολταΐκών επεκτείνεται και οι εταιρείες αναζητούν καινούριες ηλιακές τεχνολογίες που προσανατολίζονται στη διασπορά тης παραγωγής της ενέργειας πέρα από τα πάνελ στις στέγες ή στο έδαφος. Στα πλαίσια αυτής της έρευνας, τα ηλιακά παράθυρα και γενικά τα διαφανή φωτοβολταϊκά κερδίζουν συνεχώς έδαφος και μελλοντικά θα αποτελέσουν μεγάλο κομμάτι της αγοράς.



Εικόνα 1: Τα ηλιακά παράθυρα ανοίγουν ένα παράθυρο στο μέλλον

Τα παραδοσιακά φωτοβολταικά πάνελ είναι αδιαφανή, διότι η αρχή λειτουργίας τους είναι ότι απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και την μετατρέπουν σε ηλεκτρική, οπότε δεν μπορούν να είναι διαφανή. Έτσι ένα ηλιακό πάνελ δεν μπορεί να εξυπηρετήσει κανέναν άλλο σκοπό. Το να γίνει ένα ηλιακό πάνελ διαφανές φάνταζε αδύνατον, αλλά αν γίνει δυνατό μέρος της ακτινοβολίας να απορροφηθεί, τότε τα πράγματα μπορούν να μπουν σε νέα βάση. Μια ομάδα ερευνητών από το πανεπιστήμιο Michigan State, δημιούργησε ένα πλήρως διαφανές ηλιακό κύτταρο τον Αύγουστο του 2014.Υπήρχε πλήρης ορατότητα μέσα από το κύτταρο και τα φωτόνια το διαπερνούσαν. Παρόλα αυτά, με τη χρήση της επιστήμης της χημείας και της τεχνολογίας των υλικών, ήταν δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επικεφαλής της ομάδας ήταν ο Richard Lunt, βοηθός καθηγητή στο πανεπιστήμιο και ιδρυτής της εταιρείας Ubiquitous Energy, μέσω της οποίας το προϊόν προωθήθηκε στην αγορά. Παρακάτω αναλύονται οι αρχές πάνω στις οποίες στηρίζεται η λειτουργία των διαφανών πάνελ



Εικόνα 2:Εμπνεόμενοι από το πάνελ του Lunt και της ομάδας του, επιστήμονες από το MIT ανέπτυξαν ένα επίσης διαφανές πάνελ.

Προκειμένου οι ερευνητές να παρουσιάσουν τη λειτουργία του πάνελ τους, μέτρησαν την απορροφητική ικανότητα του πάνελ και στη συνέχεια τη συνέκριναν με αυτή ενός συμβατικού πάνελ. Τα αποτελέσματα φαίνονται στην παρακάτω εικόνα. Και στις δύο περιπτώσεις, η καμπύλη απόκρισης απορρόφησης (μαύρη καμπύλη) είναι υπερτεθειμένη πάνω στο ηλιακό φάσμα(γκρι καμπύλη). Στο συμβατικό πάνελ, τα μήκη κύματος που απορροφώνται, περιλαμβάνουν και την ορατή ακτινοβολία. Σε αντίθεση, το διαφανές πάνελ απορροφά τις υπέρυθρες ακτινοβολίες και τις υπεριώδεις ακτινοβολίες, πάνω και κάτω δηλαδή από το ορατό φώς και στο φάσμα του ορατού φωτός η απορρόφηση μηδενίζεται



Εικόνα 3: Φασματική απόκριση συμβατικών και διαφανών ΦΒ κυττάρων

Τα οφέλη από την ενσωμάτωση αυτών των πάνελ για παράδειγμα στα παράθυρα ενός ουρανοξύστη θα ήταν τεράστια. Η ερευνητική ομάδα υπολόγισε πως με ενσωμάτωση των πάνελ στα παράθυρα, με το πολύ 5% απόδοση, η παραγόμενη ενέργεια, θα μπορούσε να καλύψει περισσότερο από το ¼ των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου. Επιπρόσθετα, τα πάνελ θα εμπόδιζαν την είσοδο της υπέρυθρης ακτινοβολίας στο κτίριο, ή οποία είναι υπεύθυνη για τη άνοδο της θερμοκρασίας στο εσωτερικό. Με αυτόν τον τρόπο θα μειώνονταν η χρήση κλιματιστικών. Και όλα αυτά θα επιτυγχάνονταν χωρίς

αισθητικές παρεμβάσεις και μεταβολές στη λειτουργικότητα του κτιρίου.

Υπάρχουν έξι τεχνολογίες ανάπτυξης και παραγωγής των διαφανών φωτοβολταΐκών. Αυτές είναι:

- Φωτοβολταϊκά κύτταρα λεπτού φιλμ (Thin film photovoltaics (TPVs))
- Σχεδόν διαφανή ηλιακά πάνελ (Near-Infrared transparent solar cell)
- · Πολυμερές ηλιακό κύτταρο (Polymer solar cell (PSC))
- Διαφανής ηλιακός συγκεντρωτής φωταύγειας (Transparent luminescent solar concentrator (TLSC))
- · Ηλιακό κύτταρο περοβσκίτη (Perovskite)
- Ηλεκτροφορητική εναπόθεση (Electrophoretic deposition (EPD))

Περαιτέρω ανάλυση των παραπάνω τεχνολογιών πραγματοποιείται στο κεφάλαιο 3.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ

1.1 Φωτοβολταϊκά Στοιχεία Πυριτίου

Το υλικό που κατά κύριο λόγο χρησιμοποιείται στη βιομηχανία των Φ/Β είναι το πυρίτιο (Si).Τα Φ/Β στοιχεία Πυριτίου διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο παρασκευής. Οι διαφορετικοί τύποι είναι οι παρακάτω

1.2 Φ/Β στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Single-crystal Silicon)

Τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα αναπτύχθηκαν αρχικά για την αεροδιαστημική και δορυφορική τηλεόραση, αργότερα χρησιμοποιήθηκαν σε φωτοβολταϊκά πλαίσια για την παραγωγή ηλιακής ενέργειας και σήμερα διακρίνονται για την υψηλή απόδοση τους. Για τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα χρησιμοποιείται αυξημένης υψηλής καθαρότητας πυρίτιο και παράγονται σε μια πολύπλοκη διαδικασία από το ημιαγώγιμο υλικό πυριτίου, με την εξαγωγή ράβδων μονοκρυσταλλικών από το τήγμα πυριτίου. Στη συνέχεια, αυτές οι ράβδοι κόβονται σε λεπτές φέτες, οι οποίες ονομάζονται «γκοφρέτες».

Τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα, τα οποία είναι τετράγωνα κομμάτια με στρογγυλεμένες γωνίες, διασυνδέονται μεταξύ τους, για να σχηματίσουν τους ηλιακούς συλλέκτες. Φωτοβολταϊκά από μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα έχουν ένα σκούρο μπλε χρώμα και διάρκεια ζωής περίπου 30 χρόνια.

Μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα έχουν σε σύγκριση με πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα, σε πολύ υψηλή περιεκτικότητα πυρίτιο, είναι πιο αποτελεσματικά σε άμεσο ηλιακό φως και κατά συνέπεια οι αποδόσεις τους φτάνουν το 20%.

Επί του παρόντος, περίπου το ένα τρίτο του συνόλου των φωτοβολταϊκών συστημάτων που λειτουργούν, χρησιμοποιούν μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα, επειδή οι ενότητες είναι

πράγματι ακριβές στην κατασκευή και πιο ακριβές στην τελική τιμή, αλλά αυτό αντισταθμίζεται από την υψηλή απόδοση.



Εικόνα 4 .Φ/Β πάνελ μονοκρυσταλλικού πυριτίου

1.3 Φ/Β στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Multicrystalline Silicon mc-Si)

Τα πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα, καθώς και τα μονοκρυσταλλικά είναι κατασκευασμένα από πυρίτιο. Ωστόσο, το πυρίτιο δεν είναι τόσο καθαρό όπως στην παραγωγή των μονοκρυσταλλικών κυττάρων. Κατά την διαδικασία παρασκευής, ένα μπλοκ πυριτίου χυτεύεται και στη συνέχεια ψύχεται βραδέως. Οταν το τετηγμένο πυρίτιο ψύχεται και γίνεται στερεό, οι κρυσταλλικές δομές του εμφανίζονται σε διάφορα μεγέθη. Από αυτό το μπλοκ τότε μπορούν να διαχωριστούν φέτες, και κάθε φέτα αποτελεί ένα πολυκρυσταλλικό ηλιακό κύτταρο.

Πολλά πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα μαζί στη συνέχεια συνδυάζονται για να σχηματίσουν ένα ηλιακό στοιχείο. Τα πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα στη συνέχεια ενσωματώνεται σε μια διαφανή στρώση αιθυλενίου-οξικού βινυλίου, και καλύπτονται με ένα φύλλο γυαλιού έτσι ώστε να σχηματίσουν ένα ηλιακό πλαίσιο. Τα πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα είναι τετράγωνα, αλλά δεν έχουν στρογγυλεμένες γωνίες, όπως τα μονοκρυσταλλικά και έτσι η παρασκευή των ενοτήτων είναι λιγότερο δαπανηρή. Οι ενότητες είναι μπλέ και δεν είναι τόσο σκούρες όσο τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα και η απόδοσή τους βρίσκεται περίπου στο 15%.



Εικόνα 5: Φ/Β Πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου

1.4 Φ/Β στοιχεία άμορφου πυριτίου (Amorphous ή Thin film Silicon)

Το λεπτό επίστρωμα σχηματίζεται πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης χαμηλού κόστους. Η απόδοση των Φ/Β στοιχείων αυτών μειώνεται έντονα, στα αρχικά στάδια φωτισμού τους, στα επίπεδα του 6% έως 8%. Σήμερα, η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιείται για την παρασκευή σύνθετων Φ/Β στοιχείων, με διαδοχικές ενώσεις δύο ή τριών στρωμάτων με διαφορετικό ενεργειακό χάσμα, με σκοπό την αύξηση του αξιοποιήσιμου τμήματος του ηλιακού φάσματος.



Εικόνα 6:Φ/Β στοιχείου άμορφου πυριτίου

- 1.5 Ηλεκτρικά Χαρακτηριστικά Φωτοβολταϊκού Στοιχείου
- 1.5.1 Ισοδύναμο Ηλεκτρικό Κύκλωμα Φωτοβολταϊκού Στοιχείου και Χαρακτηριστική Εξίσωση

1.5.1.1 Απλό Ισοδύναμο Κύκλωμα

Ένα απλό ισοδύναμο μοντέλο κυκλώματος ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου αποτελείται από μία πραγματική δίοδο παράλληλα με μία ιδανική πηγή ρεύματος όπως φαίνεται στο Σχήμα 1. Η ιδανική πηγή ρεύματος δίνει ρεύμα ανάλογο της ηλιακής έντασης στην οποία εκτίθεται το φωτοβολταϊκό (φ/β) στοιχείο. Υπάρχουν δύο συνθήκες με ιδιαίτερο ενδιαφέρον για το πραγματικό φωτοβολταϊκό στοιχείο. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1, οι συνθήκες αυτές είναι: (α) το ρεύμα βραχυκύκλωσης ISC που ρέει όταν οι ακροδέκτες είναι βραχυκυκλωμένοι, και (β) η τάση ανοικτού κυκλώματος VOC μεταξύ των ακροδεκτών όταν τα άκρα μένουν ανοικτά.



Εικόνα 7: (α) φωτοβολταϊκό στοιχείο τροφοδοτεί φορτίο. (β) απλό ισοδύναμο κύκλωμα φ/β στοιχείου που αποτελείται από πηγή ρεύματος παράλληλα με πραγματική δίοδο.



(α) Βραχυκύκλωμα

(β) Ανοικτοκύκλωμα

Εικόνα 8: Ρεύμα βραχυκύκλωσης ISC και τάση ανοικτού κυκλώματος VOC ενός φ/β στοιχείου.

Όταν βραχυκυκλωθούν οι ακροδέκτες TOU ισοδύναμου κυκλώματος του φ/β στοιχείου, η πραγματική δίοδος δε διαρρέεται από ρεύμα αφού V = 0, οπότε όλο το ρεύμα της ιδανικής πηγής ρεύματος ρέει μέσα από τους βραχυκυκλωμένους ακροδέκτες ISC . Επειδή αυτό το ρεύμα βραχυκύκλωσης θα πρέπει να είναι ίσο με ISC, προκύπτει το μέτρο του ρεύματος της ιδανικής πηγής ρεύματος θα πρέπει να είναι ίσο με ISC. Τώρα μπορούμε να διατυπώσουμε σχέσεις για τον υπολογισμό του ρεύματος και της τάσης του ισοδύναμου κυκλώματος του φ/β στοιχείου του Σχήματος 1(β). Από το νόμο ρευμάτων Kirchhoff στο κύκλωματου Σχήματος 1(β) έχουμε:

$$I = I_{SC} - I_D \Rightarrow I = I_{SC} - I_0 \cdot (e^{\frac{q \cdot V}{k \cdot T}} - 1)$$

Εάν Ι₀ = 0 τότε θα έχουμε:

$$\mathbf{0} = I_{SC} - I_O \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V}{k \cdot T}} - \mathbf{1} \right) \Longrightarrow I_{SC} = I_O \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V}{k \cdot T}} - \mathbf{1} \right) \Longrightarrow \frac{I_{SC}}{I_O} + \mathbf{1} = e^{\frac{q \cdot V}{k \cdot T}} \Longrightarrow$$
$$V_{oc} = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln \left(\frac{I_{SC}}{I_O} + \mathbf{1} \right)$$

1.5.2 Ι-V Χαρακτηριστική Φωτοβολταϊκού Στοιχείου

Έστω ότι ένα φ/β πλαίσιο πρόκειται να συνδεθεί με κάποιο φορτίο. Το φορτίο μπορεί να είναι, για παράδειγμα, μία μπαταρία ή ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος που κινεί μία αντλία. Πριν τη σύνδεση του φορτίου, το φ/β πλαίσιο που είναι εκτεθειμένο στον ήλιο θα παράγει μία τάση ανοικτού κυκλώματος Voc αλλά δε θα διαρρέεται από ρεύμα. Αν οι ακροδέκτες του φ/β στοιχείου βραχυκυκλωθούν, θα κυκλοφορήσει το ρεύμα βραχυκύκλωσης Isc αλλά η τάση εξόδου θα είναι μηδέν. Και στις δύο περιπτώσεις, καθώς η ισχύς είναι το γινόμενο τάσης και ρεύματος, το φ/β στοιχείο δεν παράγει ισχύ και το φορτίο δεν παραλαμβάνει ισχύ. Όταν συνδεθεί το φορτίο, κάποιος συνδυασμός τάσης και ρεύματος θα προκύψει και θα παραχθεί ισχύς. Για να υπολογιστεί το ποσό της ισχύος, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι χαρακτηριστικές Ι-V του φ/β πλαισίου και του φορτίου.

Στο Σχήμα 4 φαίνεται μία γενική χαρακτηριστική Ι-V ενός φ/β πλαισίου, όπου φαίνονται διάφορες σημαντικές παράμετροι όπως η τάση ανοικτού κυκλώματος V_{oc} και το ρεύμα βραχυκύκλωσης I_{sc}.

Επίσης φαίνεται και η ισχύς που παράγει το φ/β πλαίσιο. Στα δύο άκρα της χαρακτηριστικής Ι-V, η ισχύς εξόδου είναι μηδέν επειδή είτε το ρεύμα ή η τάση είναι μηδέν σε εκείνα τα σημεία. Το σημείο της μέγιστης ισχύος είναι στην αρχή πτώσης της καμπύλης ισχύος. Το σημείο της μέγιστης ισχύος PR αντιστοιχεί σε ονομαστικό ρεύμα IR και σε ονομαστική τάση VR κάτω από τις ειδικές συνθήκες που αντιστοιχούν στις ιδανικές συνθήκες δοκιμών του φ/β πλαισίου.



Εικόνα 9:Καμπύλες *Ι*-*V* και *P*-*V* φωτοβολταϊκού στοιχείου Si για σταθερές συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.

1.5.3 Ο συντελεστής πλήρωσης ff (Fill Factor)

Ο συντελεστής ποιότητας (παράγοντας πληρότητας ή πλήρωσης) ff (fill factor) είναι ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος Pm= Vm Im ενός Φ/Β στοιχείου ή Φ/Β πλαισίου γενικότερα, προς το γινόμενο της τάσεως ανοικτού κυκλώματος Voc επί το ρεύμα βραχυκύκλωσης Isc, αντίστοιχα, για τη δεδομένη πυκνότητα ισχύος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και είναι ένα μέτρο του πόσο "τετράγωνη" είναι η I-V καμπύλη.

$$FF = \frac{V_R \cdot I_R}{V_{OC} \cdot I_{SC}}$$

Όσο πιο κοντά στη μονάδα είναι οι τιμές του ff, τόσο περισσότερο η λειτουργία του Φ/Β στοιχείου πλησιάζει την ιδανική συμπεριφορά της πηγής σταθερού ρεύματος στην περιοχή τάσεων 0-Voc. Σ' αυτές τις περιπτώσεις η διάταξη χαρακτηρίζεται αφενός από μικρή ισοδύναμη αντίσταση σε σειρά, αφετέρου από μεγάλη τιμή παράλληλης αντίστασης. Τυπικές τιμές 0,7 με 0,9 χαρακτηρίζουν Φ/Β στοιχεία με αποδεκτή έως πολύ καλή ενεργειακή απόδοση αντίστοιχα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΔΟΜΗ, ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΦΒ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

2.1 Απόδοση του ΦΒ στοιχείου

Η ηλεκτρική έξοδος ενός Φ/Β πλαισίου στις εκάστοτε συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας χαρακτηρίζεται από тпу καμπύλη έντασης-τάσης. Το σημείο της καμπύλης για το οποίο το γινόμενο έντασης επί τάση είναι μέγιστο καθορίζει τη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ η οποία δύναται να αποδοθεί από το Φ/Β πλαίσιο στις αντίστοιχες συνθήκες ακτινοβολίας και θερμοκρασίας. Η ονομαστική ισχύς του Φ/Β πλαισίου ορίζεται ως η μέγιστη ισχύς που προκύπτει από την καμπύλη που αντιστοιχεί στις πρότυπες συνθήκες δοκιμής, ήτοι ακτινοβολία 1000W/m², θερμοκρασία 25°C και φάσμα που αντιστοιχεί σε συντελεστή αέριας μάζας ΑΜ1.5. Ο έλεγχος και η αξιολόγηση ενός Φ/Β στοιχείου ή πλαισίου προϋποθέτει την μέτρηση της καμπύλης έντασης-τάσης, η οποία είναι μία σύνθετη μέτρηση καθώς επηρεάζεται από διάφορες παραμέτρους.

2.2 Μετρήσεις ονομαστικής ισχύος φ/β πλαισίων στο εργαστήριο ΚΑΠΕ

Το μέγεθος ενός Φ/Β συστήματος, όπως και το ύψος της δαπάνης το οποίο καλείται να καταβάλει ένας επενδυτής, υπολογίζεται βάσει των ονομαστικών τιμών ισχύος (τις οποίες παρέχουν οι κατασκευαστές) τω Φ/Β πλαισίων που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Λαμβάνοντας υπόψη ότι σε μια γραμμή παραγωγής είναι δυνατόν να υπάρχουν μικρές αποκλίσεις μεταξύ των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών διαδοχικών Ф/В πλαισίων, οι κατασκευαστές αυτών συνήθως δίδουν ένα εύρος ανοχής εντός του οποίου κυμαίνεται η ονομαστική τιμή της ισχύος κάθε Φ/Β πλαισίου της ίδιας γραμμής παραγωγής (π.χ. ±3%). Αρκετές φορές ωστόσο, έχει παρατηρηθεί στην πράξη ασυμφωνία μεταξύ της τιμής της ονομαστικής ισχύος των Φ/Β πλαισίων (όπως αυτή προσδιορίζεται από τους κατασκευαστές) και αυτής που υπολογίζεται βάσει μετρήσεων σε μια Φ/Β εγκατάσταση. Η απόκλιση αυτή, καθιστά σκόπιμη σε πολλές περιπτώσεις την μέτρηση της ονομαστικής ισχύος ενός Φ/Β πλαισίου (συνήθως η μετρούμενη τιμή είναι μικρότερη αυτής που αναγράφουν τα πλαίσια).

Για τη μέτρηση της ονομαστικής ισχύος ενός Φ/Β πλαισίου, πρέπει να καταγραφεί η καμπύλη έντασης-τάσης σε πρότυπες συνθήκες δοκιμής, ενώ ο συνηθέστερος τρόπος καταγραφής αυτής είναι με την χρήση ηλιακών προσομοιωτών. Ο ηλιακός προσομοιωτής είναι ένα εργαστηριακό σύστημα, το οποίο περιλαμβάνει έναν θάλαμο που διαθέτει μία πηγή παραγωγής φωτός (λαμπτήρας ειδικού τύπου και αντίστοιχου φάσματος με αυτού του ηλιακού φωτός), καθώς και τον απαραίτητο εξοπλισμό για την καταγραφή της καμπύλης έντασης-τάσης ενός Φ/Β πλαισίου (όπως ένα ηλεκτρονικό ελεγχόμενο φορτίο και το σύστημα ελέγχου και καταγραφής των μετρήσεων).

Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές, όσον αφορά το είδος του λαμπτήρα (συνεχούς έντασης, παλμού, πολλαπλών παλμών) της δυνατότητας ελέγχου θερμοκρασίας, καθώς και προδιαγραφών. Το πλεονέκτημα της χρήσης του ηλιακού προσομοιωτή έγκειται στο ότι καταγράφει την καμπύλη σε ελεγχόμενες συνθήκες, οι οποίες πολλές φορές είναι κοντά στις πρότυπες συνθήκες ώστε να απαιτούνται μικρές υπολογιστικές διορθώσεις. Λόγω της πολυπλοκότητάς του όμως και του τεχνητού φωτισμού που χρησιμοποιεί, είναι δυσχερής η χρήση του και η προσαρμογή του όταν απαιτείται να αξιολογηθούν Φ/Β διαφορετικής τεχνολογίας πλαίσια ή ακόμα και μóνo διαφορετικών διαστάσεων. Ενδεικτικά, οι δυσκολίες για τη χρήση του ηλιακού προσομοιωτή προκύπτουν από τη χρήση τεχνητού φωτισμού και συνδέονται με την ανομοιομορφία της έντασης του φωτός, τη διαφορά του φάσματος του λαμπτήρα συγκριτικά με αυτό του ηλιακού φωτός και την μεταβολή των χαρακτηριστικών της λάμπας με το χρόνο. Επίσης, προκειμένου ο εν λόγω εξοπλισμός να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση Φ/Β πλαισίων διαφορετικής τεχνολογίας, απαιτείται η εφαρμογή μιας ειδικής και επίπονης διαδικασίας για την ρύθμιση του εξοπλισμού και τον έλεγχο της αξιοπιστίας των μετρήσεων σε τακτά χρονικά διαστήματα (έτσι ώστε να περιορίζεται κατά το δυνατόν περισσότερο η επιρροή των παραπάνω αρνητικών παραγόντων στην αβεβαιότητα των Έτσι στην πράξη μετρήσεων). η χρήση των ηλιακών προσομοιωτών ενδείκνυται περισσότερο στις περιπτώσεις όπου απαιτείται η μέτρηση ενός συγκεκριμένου τύπου πλαισίου σε ελεγχόμενες και επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Η παραπάνω εφαρμογή θα μπορούσε να είναι η περίπτωση μιας γραμμής παραγωγής, όπου ο ηλιακός προσομοιωτής κατά την αρχική εγκατάσταση ρυθμίζεται και βαθμονομείται, ενώ παράλληλα παρέχεται και η δυνατότητα συχνού ελέγχου της ορθής

λειτουργίας του εξοπλισμού με τη χρήση πλαισίων αναφοράς, τα οποία αγοράζονται και φυλάσσονται ειδικά για το σκοπό αυτό. Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη ότι το κόστος αγοράς των ηλιακών προσομοιωτών είναι ιδιαίτερα υψηλό, γίνεται κατανοητό ότι η γρήγορη αντικατάσταση μιας τέτοιας επένδυσης δεν είναι εύκολη υπόθεση, με άμεσο αποτέλεσμα οι παλαιότεροι προσομοιωτές να μην καλύπτουν τις απαιτήσεις ομοιομορφίας της φωτεινής έντασης για τα περισσότερα σύγχρονα Φ/Β πλαίσια, καθώς η τάση της αγοράς είναι προς πλαίσια μεγαλύτερης επιφανείας. Η ανομοιομορφία της φωτεινής έντασης στην επιφάνεια του Φ/Β πλαισίου δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή 5%, ώστε να μην επηρεάζεται σημαντικά η ορθότητα των μετρήσεων στην περιοχή της μέγιστης ισχύος της καμπύλης.

Σημειώνεται τέλος ότι στα καλύτερα διεθνώς αναγνωρισμένα εργαστήρια η ακρίβεια της μέτρησης της ονομαστικής ισχύος κυμαίνεται περίπου στο 2.5%.

Στο εργαστήριο Φ/Β Συστημάτων και Διεσπαρμένης Παραγωγής του ΚΑΠΕ η μέτρηση της ονομαστικής ισχύος ενός Φ/Β πλαισίου κρυσταλλικού πυριτίου μπορεί να γίνει τόσο με τη χρήση

ηλιακού προσομοιωτή όσο και με τη μέτρηση της καμπύλης έντασης-τάσης με φορητό όργανο σε φυσικό ηλιακό φώς. Στην δεύτερη περίπτωση οι συνθήκες της μέτρησης δεν είναι ελεγχόμενες και δεν αντιστοιχούν στις πρότυπες συνθήκες δοκιμής. Για το λόγο αυτό οι μετρήσεις πρέπει να αναχθούν με κατάλληλους μαθηματικούς υπολογισμούς σε συνθήκες πρότυπης δοκιμής. Για την αναγωγή μιας καμπύλης που έχει ληφθεί σε τυχαίες συνθήκες, σε συνθήκες πρότυπης δοκιμής, υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες και σε πολλά εργαστήρια χρησιμοποιούνται διάφορες παραλλαγές.

Στο ΚΑΠΕ η αναγωγή γίνεται με επεξεργασία των μετρήσεων σύμφωνα με τις εξισώσεις που προκύπτουν από το πρότυπο IEC 60891.

Αναλυτικότερα, κάθε σημείο Ι1, V1 της μετρηθείσας καμπύλης σε συνθήκες ακτινοβολίας Ε1 (όπως μετρείται από αισθητήρα αναφοράς της ιδίας τεχνολογίας με το μετρούμενο πλαίσιο) και θερμοκρασίας Τ1 ανάγεται σε αντίστοιχο σημείο Ι2, V2 της καμπύλης σε πρότυπες συνθήκες δοκιμής

με τις επόμενες μαθηματικές εξισώσεις:

 $I_2 = I_1 + I_{1,sc} \cdot (1000/E_1 - 1) + a \cdot (25 - T_1)$ (1)

 $V_2 = V_1 - R_s \cdot (I_2 - I_1) - K \cdot I_2 \cdot (25 - T_1) + b \cdot (25 - T_1)$ (2)

Όπου I_{1,sc} είναι το ρεύμα βραχυκύκλωσης της μετρηθείσας καμπύλης, Rs η αντίσταση σειράς του πλαισίου, a ο θερμοκρασιακός συντελεστής του ρεύματος βραχυκύκλωσης σε A/°C, b ο θερμοκρασιακός συντελεστής της τάσης ανοικτού κυκλώματος σε V/°C και K ένας συντελεστής διόρθωσης της καμπύλης σε Ohms/°C.

Προκειμένου τα σφάλματα που θα προκύψουν από την εφαρμογή των παραπάνω μαθηματικών εκφράσεων να διατηρηθούν σε ιδιαίτερα χαμηλές τιμές, θα πρέπει η μέτρηση της χαρακτηριστικής καμπύλης έντασης-τάσης (με τον παραπάνω εξοπλισμό) να γίνεται όταν δεν υπάρχουν σύννεφα πλησίον του ήλιου και η τιμή της ακτινοβολίας να είναι τουλάχιστον ίση με 800 W/m².

Λαμβάνοντας υπόψη τις κλιματολογικές συνθήκες της Ελλάδος γίνεται εμφανές ότι καθ'όλην τη διάρκεια του έτους υπάρχει η δυνατότητα εκτέλεσης των μετρήσεων σε ηλιακό φως σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράψαμε προηγουμένως.

Ο φορητός εξοπλισμός που παρουσιάστηκε στις προηγούμενες παραγράφους αποδεικνύεται ιδιαίτερα χρήσιμος στις περιπτώσεις όπου η αξιολόγηση της λειτουργικής συμπεριφοράς ενός Φ/Β πλαισίου πρέπει υποχρεωτικά να γίνει στην περιοχή όπου είναι εγκατεστημένο το Φ/Β πάρκο και γι αυτό προτιμήθηκε να παρουσιαστεί έναντι του ηλιακού προσομοιωτή που διαθέτει το εργαστήριο.

Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζονται φωτογραφίες από τη διεξαγωγή πειραματικών μετρήσεων για τον προσδιορισμό της ονομαστικής ισχύος σε Φ/Β πλαίσια του εμπορίου.



Εικόνα 10:Φωτογραφία του εξοπλισμού για τη μέτρηση της χαρακτηριστικής καμπύλης έντασης-τάσης ενός Φ/Β πλαισίου με τη βοήθεια του ηλιακού φωτός.



Εικόνα 11:Παρουσίαση πειραματικών μετρήσεων και της διόρθωσης αυτών σύμφωνα με το πρότυπο IEC 60891.

2.3 Η Επίδραση της Θερμοκρασίας και της Ρύπανσης

2.3.1 1. Ένταση ηλιακής ακτινοβολίας

Η διακύμανση της ηλιακής ακτινοβολίας ή διαφορετικά η μεταβολή της έντασης ή πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνειά του το Φ/Β πλαίσιο, κατά την διάρκεια της ημέρας αλλά και του έτους, καθιστά την τροφοδοσία του μή σταθερή η οποία αυξομειώνεται μεταξύ μιάς μέγιστης και της μηδενικής τιμής. Επομένως, η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς του πλαισίου εξαρτάται από την χρονική μεταβολή της έντασης της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνειά του.

2.3.2 . Θερμοκρασία του Φ/Β στοιχείου – Θερμοκρασία περιβάλλοντος

Τα Φ/Β στοιχεία λειτουργούν καλύτερα σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες, όταν δηλαδή η θερμοκρασία τους δεν υπερβαίνει την συμβατικά σχεδιαζόμενη θερμοκρασία λειτουργίας, η οποία είναι 25°C. Η θερμοκρασία τους όμως αυξάνεται και λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν ιδιαίτερα κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, αλλά και εξαιτίας της μετατροπής μέσα σε αυτά μέρους της ηλιακής ενέργειας σε θερμική ενέργεια. Έτσι έχει αποδειχθεί ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του Φ/Β στοιχείου ελαττώνει τελικά την αποδιδόμενη από αυτό μέγιστη ισχύ κατά περίπου 0,3% °C.

2.3.3 . Επίδραση της σκόνης

Η επίδραση της απόδοσης των Φ/Β στοιχείων από την ρύπανση και την σκόνη του περιβάλλοντος δεν είναι καθόλου αμελητέα. Αντίθετα, με την χρήση ενός αδιάστατου συντελεστή υπεισέρχεται και αυτή η παράμετρος στον μέγιστης απόδοσης. υπολογισμό της 0 παραπάνω συντελεστής παίρνει την τιμή 1 για περιβάλλον χωρίς ρύπανση και την τιμή 0,8 για περιβάλλον με υψηλό επίπεδο ρύπανσης. Πάντως, η κλίση με την οποία τοποθετούνται τα Φ/Β πλαίσια ευνοεί τον καθαρισμό της επιφάνειάς τους από την βροχή και τον αέρα, και έτσι περιορίζεται η επίδραση του συγκεκριμένου παράγοντα. Στις περιπτώσεις, όμως, που τα Φ/Β πλαίσια τοποθετούνται με οριζόντια κλίση, συνίσταται ο περιοδικός καθαρισμός τους.

2.4 Η Ισχύς Αιχμής του Φωτοβολταϊκού Πλαισίου

Ο βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ισχύος που παράγεται προς τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια: Αν θεωρήσουμε ότι πάνω στην επιφάνεια ενός ΦΒ στοιχείου εμβαδού S, προσπίπτει ισχύς ΗΜ ακτινοβολίας P_{in}=E·S, όπου E, η πυκνότητα ισχύος της. Το πηλίκο της ηλεκτρικής ισχύος, P_m, που αποδίδεται από το ΦΒ στοιχείο, στο αντίστοιχο σημείο μέγιστης ισχύος, προς την προσπίπτουσα ισχύ ακτινοβολίας, P_{in}, καθορίζει την απόδοση ενεργειακής μετατροπής, n_c, του ΦΒ στοιχείου.

$$n_c = \frac{P_m}{P_{in}} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{in}} = \frac{FF \cdot I_{OC} \cdot V_{OC}}{P_{in}}$$

Η απόδοση του ΦΒ στοιχείου εξαρτάται από τον χρησιμοποιούμενο ημιαγωγό, αυξάνεται με αύξηση της πυκνότητας της ισχύος της ακτινοβολίας, Ε (διατηρώντας τη θερμοκρασία της κυψελίδας σταθερή)και μειώνεται με αύξηση της θερμοκρασίας.

Η εξάρτηση της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που αποδίδει ένα ΦΒ στοιχείο πυριτίου, από την πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας, φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Παρατηρούμε ότι στις χαμηλές τιμές πυκνότητας ισχύος η εξάρτηση είναι γραμμική, ενώ στις υψηλότερες συχνότητες αποκλίνει από τη γραμμική συμπεριφορά. Αντίστοιχα η απόδοση του ΦΒ στοιχείου αποκτά σύντομα τη μέγιστη τιμής της.



Εικόνα 12:Επίδραση της ηλεκτρικής ακτινοβολίας στο βαθμό απόδοσης και στην ισχύ ενός ΦΒ πλαισίου

2.5 Απώλεια ισχύος – Φαινόμενο ΗΟΤ SPOT

Οι αιτίες της μη προσαρμογής των χαρακτηριστικών των κυττάρων μιας συστοιχίας οφείλονται αφενός σε κατασκευαστικούς λόγους, αφετέρου προκύπτουν κατά тŋ διάρκεια της λειτουργίας τους. Από τις τελευταίες, συνηθέστερη η μερική ή ολική σκίαση ενός ή περισσοτέρων κυττάρων είναι και μπορεί να οφείλεται σε σύννεφα , δέντρα που αναπτύσσονται, κτίρια, καμινάδες κλπ.



Εικόνα 13:Απώλεια ισχύος λόγω σκίασης

Άλλη αιτία είναι η θραύση ενός ή περισσοτέρων κυττάρων και μπορεί να οφείλεται σε διαφορετική διαστολή μεταξύ του κυττάρου και του υλικού πάνω στο οποίο στηρίζεται, σε χαλάζι, σε ελαττωμένη αντοχή που προέκυψε κατά τη διάρκεια της κατασκευής του ή της ενσωμάτωσής του στο πλαίσιο. Ας σημειωθεί ότι η ολική θραύση ενός κυττάρου σημαίνει από ηλεκτρική άποψη, ανοιχτό κύκλωμα. Τέλος, μια άλλη αιτία μπορεί να είναι ανοιχτοκυκλωμένες ηλεκτρικές συνδέσεις και να οφείλεται σε διαφορετική θερμική διαστολή κλπ.

Είναι γνωστό ότι οι πηγές τάσεις σε σειρά προστίθενται, ενώ σε παράλληλη σύνδεση είναι ισοδύναμες με την τιμή της μικρότερης τάσης. Επιπλέον, πηγές ρεύματος παράλληλα προστίθενται, ενώ σε σειρά είναι ισοδύναμες με την τιμή του μικρότερου. Έτσι, αν δύο κύτταρα με ανόμοια χαρακτηριστικά συνδεθούν σε σειρά η συμπεριφορά τους (που απαιτεί να διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα), περιγράφεται αν αθροίσουμε τις τάσεις των δύο κυττάρων για τις διάφορες τιμές του ρεύματος.



Εικόνα 14:Βασικός συνδυασμός, σε σειρά και παράλληλα, πηγών τάσεως και ρεύματος

Ισχυρές αποκλίσεις των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των κυττάρων μιας συστοιχίας είναι δυνατόν να προκαλέσουν απώλεια της ικανότητας παραγωγής ισχύος. Αυτό σημαίνει ότι η συνολική ισχύς εξόδου θα είναι μικρότερη από το άθροισμα των ισχύων των επί μέρους κυττάρων. Η απώλεια αυτή ισχύος καλείται απώλεια προσαρμογής (mismatch loss) και αποτελεί ένα φαινόμενο με μεγάλο ενδιαφέρον, ιδιαίτερα για κύτταρα συνδεδεμένα σε σειρά.

Η μη προσαρμογή των χαρακτηριστικών των κυττάρων μιας συστοιχίας, εκτός από μείωση της ισχύος εξόδου, είναι δυνατόν να προκαλέσει κι ένα άλλο φαινόμενο, ιδιαίτερα σημαντικό, που καλείται φαινόμενο hot-spot. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται σε πόλωση ενός ή περισσοτέρων κυττάρων ανάστροφη και συνεπάγεται υπερθέρμανσή τους, που πολλές φορές μπορεί να είναι καταστροφική. Πιο συγκεκριμένα, το φαινόμενο hot-spot υπάρχει φωτοβολταϊκό συμβαίνει όταν ένα στοιχείο, συνδεδεμένο σε σειρά με κάποια άλλα, που δίνει χαμηλό ρεύμα σε σχέση με τα υπόλοιπα.



Εικόνα 15:Απεικόνιση του φαινομένου ΗΟΤ SPOT με θερμοκάμερα

Δηλαδή, αν μια αλυσίδα από κύτταρα βραχυκυκλωθεί τότε η ισχύς που παράγουν τα μη σκιαζόμενα στοιχεία καταναλώνεται δια μέσω του σκιαζόμενου φωτοβολταϊκού στοιχείου. Το σκιαζόμενο στοιχείο μειώνει το ρεύμα δια μέσω των μη σκιαζόμενων στοιχείων, προκαλώντας τα «καλά» στοιχεία να παράγουν υψηλότερη τάση η οποία μπορεί να προκαλέσει ανάστροφη πόλωση του σκιαζόμενου φωτοβολταϊκού στοιχείου. Έτσι, η ενέργεια που χάνεται στο σκιαζόμενο στοιχείο μετατρέπεται σε θερμότητα (υπερβολική τοπική αύξηση της θερμοκρασίας) με πιθανό αποτέλεσμα την θραύση ή ακόμη και την πλήρη καταστροφή του πλαισίου.



Εικόνα 16:Συνέπειες σκίασης στα φωτοβολταικά πλαίσια

2.6 Τρόποι διόρθωσης

Με σκοπό να μειώσουμε την επίδραση των προβλημάτων που περιεγράφηκαν παραπάνω ακολουθούμε συνήθως δύο στρατηγικές: είτε χρησιμοποιούμε πλεονάζουσες συνδέσεις είτε συνδέουμε παράλληλα διόδους παράκαμψης.

2.6.1 Στρατηγική παράλληλης/σε σειρά σύνδεσης κυττάρων

Ένας τρόπος για να αυξήσουμε την αξιοπιστία του συστήματος να χρησιμοποιήσουμε πλεονάζουσες σε είναι σειρά και παράλληλες συνδέσεις. Αυτό μειώνει την πιθανότητα να συμβούν πολλά βραχυκυκλώματα σε ένα κλάδο, έτσι ώστε δύο ή περισσότερα βραχυκυκλωμένα κύτταρα να μην προκαλούν αθροιστική πτώση τάσης. Αυτό έχει το επιπλέον πλεονέκτημα ότι είναι δυνατός ο τμηματικός έλεγχος της συστοιχίας σε διάφορα ενδιάμεσα σημεία καθώς επίσης υπάρχει δυνατότητα απομόνωσης μικρών (επί τμημάτων της όλης μέρους) συστοιχίας για συντήρηση κι επισκευή.





2.6.2 Δίοδοι παράκαμψης

Тο καταστροφικό φαινόμενο hot-spot είναι δυνατόν να αποφευχθεί με τη χρήση μιας παρακαμπτήριας διόδου (δίοδος παράκαμψης). Μια δίοδος συνδέεται παράλληλα με μια σειρά φωτοβολταϊκών στοιχείων, οποία θέλουμε тпу να προστατέψουμε, αλλά με αντίθετη πόλωση. Υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας, κάθε στοιχείο είναι ορθά πολωμένο και η δίοδος που είναι ανάστροφα πολωμένη, απλά αποτελεί ένα κομμάτι ανοιχτού ουσιαστικά κυκλώματος με αποτέλεσμα το ρεύμα να μην επιλέγει τον δρόμο αυτό. Όμως, όταν ένα στοιχείο πολωθεί ανάστροφα και εμφανιστεί μια διαφορά του ρεύματος βραχυκυκλώσεως μεταξύ των φωτοβολταϊκών στοιχείων της σειράς, τότε η δίοδος άγει και προστατεύει το «προβληματικό» στοιχείο.

Πρακτικά, θα έπρεπε να είχαμε μια δίοδο για κάθε στοιχείο. Αυτό όμως είναι ανέφικτο λόγω του υψηλού κόστους κι έτσι χρησιμοποιείται μια δίοδος κατά μήκος μιας ομάδας στοιχείων. Ο μέγιστος αριθμός φωτοβολταϊκών στοιχείων που μπορεί να καλύπτει μια δίοδος είναι περίπου 15 (στοιχεία/δίοδο).



Εικόνα 18:Δίοδοι παράκαμψης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΔΙΑΦΑΝΩΝ ΗΛΙΑΚΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ

3.1 Φωτοβολταικά κύτταρα λεπτού φίλμ (Thin film photovoltaics (TPVs))

Η τεχνολογία αυτή αποτελεί μία από τις πιο αποδοτικές μεθόδους κατασκευής και υλοποιείται μέσω δύο κυρίως τεχνικών. Με την πρώτη τεχνική, πραγματοποιείται από την αρχή κατασκευή του υλικού ενώ με τη δεύτερη γίνεται εναπόθεση του υλικού πάνω σε γυαλί που αποτελείται από Οξείδιο του κασσίτερου με πρόσμιξη φθορίου (FTO: Fluorine doped Tin Oxide (FTO) Glass)

Το TPV είναι ένα υλικό που το πάχος του κυμαίνεται από μερικά νανόμετρα μέχρι δέκατα του μικρομέτρου και εναποτίθεται σε γυαλί με διαφορετικούς τρόπους. Η τεχνολογία αυτή μειώνει το κόστος των ηλιακών κυττάρων κάνοντας οικονομία στα υλικά. Επίσης είναι εύκολη η εναπόθεση τους σε πολλές διαφορετικές επιφάνειες και υλικά, επιτρέποντας έτσι την χρήση τους σε πολλές εφαρμογές.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι εναπόθεσης λεπτών φιλμ πάνω σε επιφάνειες.

- Εναπόθεση με χημικό λουτρό (chemical bath deposition (CBD))
- Εναπόθεση με ατμούς (physical vapour deposition (PVD))
- Ηλεκτρική εναπόθεση
- Εκτύπωση οθόνης
- Παλμική εναπόθεση λέιζερ (pulsed laser deposition (PLD))
- Εναπόθεση με ψεκασμό ατομικών στρωμάτων (spray and atomic layer deposition (ALD))

Η τεχνική της εκτύπωσης οθόνης είναι η επικρατέστερη μέθοδος. Παρέχει έναν εύκολο τρόπο να ελεγχθεί το πάχος του φιλμ. Αυτό επιτυγχάνεται ως εξής: μετά την εναπόθεση της επιθυμητής ποσότητας υλικού στην επιφάνεια, το υλικό σπρώχνεται με σταθερή ταχύτητα προς κάθε κατεύθυνση με τη βοήθεια ενός εργαλείου (squeegee). Με αυτό τον τρόπο, το υλικό φεύγει από την επιφάνεια και προωθείται στην επίστρωση από κάτω



Εικόνα 19: Σχηματικό διάγραμμα εκτύπωσης οθόνης σε πολυμερές φιλμ

Στην τελική τους μορφή τα κύτταρα λεπτού φιλμ είναι σε τομή όπως φαίνονται στην επόμενη εικόνα





3.2 Σχεδόν διαφανή ηλιακά πάνελ (Near-Infrared transparent solar cell)

Το 2011, η ερευνητική ομάδα του Richard Lupnt. τροποποίησε τα μόρια της επίστρωσης ούτως ώστε να απορροφώνται από αυτή τα υπεριώδη και τα σχεδόν υπέρυθρα μήκη κύματος. Μέχρι τότε η απορρόφηση επιτυγχάνονταν μέσω της βάσης του κυττάρου και ανάλογα με το πάχος του.

Πρόκειται για πάνελ ετεροεπαφής, με διαπερατότητα στο φως μεγαλύτερη από 65% και με απορροφητικότητα στη σχεδόν υπέρυθρη ακτινοβολία 1.3 ± 0.1%. Τα στρώματα από τα οποία αποτελείται φαίνονται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 21: Σχεδόν διαφανές ηλιακό κύτταρο (τομή)

Ο κύριος στόχος είναι η διέλευση του ορατού φωτός και η απορρόφηση των υπεριωδών και των σχεδόν υπέρυθρων ακτινοβολιών.

3.3 Πολυμερές ηλιακό κύτταρο (Polymer solar cell (PSC))

Το 2012, μια ερευνητική ομάδα από το πανεπιστήμιο της Καλιφόρνια ερεύνησε την πιθανότητα παραγωγής ηλιακών κυττάρων με τη μέθοδο της επεξεργασίας διαλύματος. Τα υλικά που απορροφούν το διάλυμα πρέπει να έχουν την ιδιότητα της απορρόφησης των υπεριωδών και των σχεδόν υπέρυθρων ακτινοβολιών. Υλικά με τέτοιες ιδιότητες είναι οι νανοσωλήνες άνθρακα και το γραφένιο. Τα υλικά αυτά πρέπει να συνδυαστούν με διαφανή αγώγιμα υλικά, όπως νεροσωλήνες ασημιού (AgNWs)



UTPEDUI:PS5

Εικόνα 22: Διαφανές PSC

3.4 Διαφανής ηλιακός συγκεντρωτής φωταύγειας (Transparent luminescent solar concentrator (TLSC))

Το πανεπιστήμιο Michigan State πρότεινε το 2014 μια άλλη τεχνική, την TLSC, η οποία βασίζεται σε οργανικά άλατα και συνδυάζει αποδοτικότητα και διαπερατότητα.

Το TLSC κατασκευάζεται από φωτοφόρα μείγματα κανικού και κυανικού άλατος, συνθέτοντας έτσι μείγματα κυανικού άλατος με κβαντικές παραγωγές, τα οποία συνδυάζονται με υλικά που απορροφούν τις σχεδόν υπεριώδεις ακτινοβολίες. Η διαπερατότητα που επιτυγχάνεται είναι 86% και η απόδοση 0.4%

3.5 Ηλιακό κύτταρο περοβσκίτη (Perovskite)

Οι επιστήμονες προσπαθούν να βελτιώσουν την ημιδιαφανή ιδιότητα των οργανικών ηλιακών κυττάρων αναπτύσσοντας ένα απορροφητικό υλικό με χαμηλότερο εύρος ζώνης από αυτό των φωτονίων. Αυτό σημαίνει ότι θα επιτρέπει τη διέλευση του ορατού φωτός αλλά θα απορροφά τις ακτινοβολίες κοντά στο υπεριώδες φάσμα. Βελτιώνοντας όμως την διαπερατότητα, επηρεάστηκε η απόδοση. Αυτό οδήγησε τους επιστήμονες στην αναζήτηση ενός υλικού που βελτιώνει την απόδοση του κυττάρου, τον μεθυλεστέρας αλογονούχου περοβσκίτη (methyl ammonium lead halide perovskite).

Τα περισσότερα κύτταρα υψηλής απόδοσης περοβσκίτη, κατασκευάζονται με εναπόθεση οργανικών υλικών πάνε σε TiO₂ ή Al₂O_{3.} Ο περοβσκίτης είναι οργανικό υλικό που συναντάται σε αφθονία στη φύση και έχει πολύ καλές ηλεκτρικές ιδιότητες για τα ηλιακά κύτταρα, όπως υψηλό δείκτη απορροφητικότητας, υψηλή κινητικότητα φορέων, ευθεία ενεργειακή ζώνη και υψηλή σταθερότητα. Τα περισσότερα ηλιακά κύτταρα περοβσκίτη επιτυγχάνουν μετατροπή ισχύος σε ποσοστό 13%




3.6 Ηλεκτροφορητική εναπόθεση (Electrophoretic deposition (EPD))

Η ηλεκτροφορητική εναπόθεση αποτελεί άλλη μια μέθοδο για τη δημιουργία κυττάρων λεπτών φιλμ. Υλοποιείται σε δύο στάδια εναπόθεσης σε γυαλί FTO. Αρχικά, σωματίδια εναποτίθενται στο γυαλί εφαρμόζοντας συνεχή τάση σε δύο ηλεκτρόδια, δημιουργώντας έτσι ηλεκτρικό πεδίο. Το ένα ηλεκτρόδιο είναι η άνοδος και το άλλο είναι η κάθοδος και βυθίζονται σε ένα διαλυτικό μέσο που περιέχει τα σωματίδια.



0



Κατά το δεύτερο στάδιο, τα σχηματισμένα σωματίδια συγκεντρώνονται στο ένα από τα δύο ηλεκτρόδια, σχηματίζοντας έτσι ένα λεπτό στρώμα από διοξείδιο του τιτανίου.

Το 2015, το τεχνολογικό πανεπιστήμιο Xi'an στην Κίνα, πρότεινε την παραγωγή διαφανών ηλιακών κυττάρων με την εφαρμογή ηλεκτροφορητικής εναπόθεσης, με τη χρήση νανοσωλήνων TiO₂. Η δομή νανοσωλήνων είναι μία από τους σχηματισμούς του TiO₂ που έχει καλές ιδιότητες. Οι ιδιότητες αυτές ταιριάζουν πάρα πολύ καλά σε εφαρμογές ηλιακών κυττάρων λόγω της ικανότητάς τους να κατασκευάζουν επίπεδα που καταλαμβάνουν μεγάλη επιφάνεια με μικρό πάχος. Η διαπερατότητα επιτυγχάνεται ελέγχοντας το πάχος του τοίχους των σωλήνων, το μήκος των σωλήνων και την εσωτερική τους διάμετρο.



Εικόνα 25: Απεικόνιση των νανοσωλήνων TiO₂

3.7 Οργανικά Φωτοβολταϊκά

3.7.1 Αρχή λειτουργίας

Η λειτουργίας των οργανικών ηλιακών είναι παρόμοια με αυτή των συμβατικών φωτοβολταικών πυριτίου, στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από το φως του ήλιου σύμφωνα με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο που έχει αναλυθεί λεπτομερώς στο πρώτο κεφάλαιο.

Η κύρια διαφορά των οργανικών 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. Τα εξιτόνια παράγονται στο φωτοενεργό υλικό που συνήθως είναι ένα μείγμα πολυμερούς και τοποθετείται μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, ενός διαφανούς, απ' όπου εισέρχεται το φως, και ενός μεταλλικού, για 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.

Exciton formation



Εικόνα 26: Το εξιτόνιο

3.7.2 Τύποι OPVs

Οι οργανικές φωτοβολταϊκές διατάξεις (OPVs) έχουν σαν δομική τους μονάδα την οργανική φωτοβολταϊκή κυψελίδα (OSC-Organic Solar Cell ή αλλιώς PSC-Plastic Solar Cell).

Τα χρησιμοποιούμενα υλικά παραγωγής των OSC έχουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- \$ Χαμηλό κόστος παρασκευής και συνεπώς είναι οικονομικά εφικτή η μαζική τους παραγωγή. Αυτό αποτελεί ξεκάθαρο πλεονέκτημα έναντι των ανόργανων ημιαγωγών (Si, Ge, GaAs, κτλ).
- § Δεύτερο πλεονέκτημά τους είναι η δυνατότητα παραγωγής τους σε συνθήκες περιβάλλοντος δωματίου, χωρίς έτσι να απαιτούν συνθήκες υψηλού κενού ή υψηλές θερμοκρασίες
- § Τρίτον, η ευκαμψία των οργανικών αγώγιμων πολυμερών τα καθιστά ικανά να χρησιμοποιηθούν υπό συνθήκες κάμψης ή στρέψης χωρίς να επηρεάζεται αισθητά η απόδοση της διάταξης OPV.

Χαρακτηρίζονται όμως και από τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

- § Αν και ο συντελεστής οπτικής απορρόφησης των οργανικών πολυμερών είναι υψηλός, σημαντικό –προς το παρόν- μειονέκτημα των OSCs έναντι των ανόργανων φωτοβολταϊκών κυψελίδων είναι η χαμηλή απόδοσή τους.
- § Ακολουθεί η χημική αστάθεια (λόγω της πολυμερικής φύσης τους)
- § Και η χαμηλότερη αντοχή τους σε μηχανική καταπόνηση.

Στα οργανικά φωτοβολταϊκά είναι σημαντική η σειρά τοποθέτησης των επιμέρους στρωμάτων αλλά και το υλικό τους. Αυτό το κριτήριο κατηγοριοποιεί τα OPVs σε: Single Layer OPVs, Bilayer OPVs, Bulk Heterojunction OPVs (BHJ), Graded Heterojunction OPVs.Ακολουθεί μια σύντομη αναφορά σε αυτά

3.7.2.1 Single Layer OPVs (Μονοστρωματικές Διατάξεις)

Πρόκειται για την απλούστερη δομή OSC. Σε αυτά, το πολυμερές που δημιουργούνται τα εξιτόνια συμπιέζεται από δύο αγώγιμα υποστρώματα εκατέρωθέν του. Το πρώτο υπόστρωμα έχει υψηλό έργο εξόδου (workfunction) και συνήθως επιλέγεται σαν υλικό το ITO (Indium Tin Oxide) και λειτουργεί σαν άνοδος της διάταξης.Το δεύτερο υπόστρωμα πρέπει να έχει χαμηλό έργο εξόδου και λειτουργεί ως κάθοδος της διάταξης. Συνήθως επιλέγονται μέταλλα όπως Al, Mg ή Ca. Τέτοιες διατάξεις όμως μειονεκτούν ως προς την απόδοσή τους. Ο συντελεστής μετατροπής ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική είναι μικρότερος του 0.1% κυρίως διότι η διαφορά των έργων εξόδου που έχουν τα υλικά ανόδου και καθόδου δεν είναι αρκετά υψηλή ώστε να διαχωριστεί οριστικά ένα εξιτόνιο σε ένα ηλεκτρόνιο και μια οπή. Αντ'αυτού παρατηρείται συνήθως επανασύνδεση ηλεκτρονίων και οπών προτού αυτά φτάσουν στα αντίστοιχα ηλεκτρόδια. Η υποτυπώδης μορφή ενός τέτοιουΟSC φαίνεται στην εικόνα 27



Εικόνα 27: Δομή ενός Single Layer OPV

3.7.2.2 Bilayer ΟΡV(Διστρωματικές Διατάξεις)

Αυτός ο τύπος περιλαμβάνει δύο υποστρώματα ανάμεσα στην άνοδο και την κάθοδο της διάταξης. Τα υλικά αυτών διαφέρουν σκόπιμα ως προς την ηλεκτρονιοσυγγένεια (electron affinity) και την ενέργεια ιονισμού τους. Έτσι αναπτύσσονται ηλεκτροστατικές δυνάμεις στη διεπιφάνειά τους.

Εξαιτίας του εντονότερου ηλεκτροστατικού πεδίου υπάρχει αυξημένη πιθανότητα μετάπτωσης ενός ηλεκτρονίου από τη ζώνη αγωγιμότητας του υλικού που απορρόφησε το φωτόνιο στη ζώνη αγωγιμότητας του πολυμερικού δέκτη ηλεκτρονίων. Με λίγα λόγια αυξάνεται η πιθανότητα διάσπασης των εξιτονίων στη διεπιφάνεια. То υπόστρωμα зц тŋ μεγαλύτερη ηλεκτρονιοσυγγένεια και ενέργεια ιονισμού λειτουργεί σαν δέκτης ηλεκτρονίων ενώ αυτό με τη χαμηλότερη σαν δότης. Ο συντελεστής μετατροπής ηλιακής σε ηλεκτρική ενέργεια αυξάνεται έτσι στο 1% υπό μονοχρωματική ακτινοβολία αλλά προβληματίζει το κατάλληλο πάχος κάθε υποστρώματος, διότι ένα ελάχιστο πάχος κατάλληλο για αξιόλογη απορρόφηση φωτονίων είναι τα 100nm, ενώ το βάθος διάχυσης ενός εξιτονίου μόλις τα 10nm. Έτσι μόνο ένα μικρό ποσοστό εξιτονίων προσεγγίζει τη διεπιφάνεια των υποστρωμάτων αυτών. Η μορφή ενός τέτοιου OSC δίνεται στην εικόνα 28



Εικόνα 28: Δομή ενός Bilayer OPV

3.7.2.3 Bulk Heterojunction OSC (BHJ)(Διατάξεις συμπαγούς ετεροεπαφής)

Πρόκειται για βελτιωμένο τύπο OSC στον οποίο ανάμεσα στην άνοδο και την κάθοδο υπάρχει ένα υπόστρωμα, που αποτελεί μίξη δύο πολυμερών με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διαφορά ηλεκτρονιοσυγγένειας και ενέργειας ιονισμού. Αποτελεί βελτίωση της διστρωματικής μορφής, διότι το πάχος του στρώματος είναι συγκρίσιμο με την απόσταση διάχυσης του εξιτονίου (10 nm). Έτσι, τα εξιτόνια που προκύπτουν μπορούν ευκολότερα να πλησιάσουν την διεπαφή δότη-δέκτη και να διασπαστούν σε ηλεκτρόνια και οπές σε μεγαλύτερες ποσότητες. Κατόπιν, τα ηλεκτρόνια και οι οπές συλλέγονται από τον αντίστοιχο δέκτη (ο δότης ηλεκτρονίων λειτουργεί επίσης σαν δέκτης οπών και το αντίστροφο) και οδηγούνται στην κάθοδο και άνοδο αντίστοιχα. Στην εικόνα 29 δίνεται η υποτυπώδης δομή μιας BHJ κυψελίδας.



Εικόνα 29: Δομή ενός BHJ OPV

3.7.2.4 Graded Heterojunction OSC (GHJ): Διατάξεις διεσπαρμένης ετεροεπαφής

Αποτελεί συνδυασμό των δύο προηγουμένων δομών, όπου ουσιαστικά αντί για μια επίπεδη διεπαφή ανάμεσα στα ενεργά οργανικά στρώματα, γίνεται διείσδυση του ενός τύπου πολυμερούς στον άλλο. Η διείσδυση όμως προϋποθέτει όσο το δυνατόν καλύτερα καθορισμένη θέση και συγκέντρωση του ενός πολυμερούς στον χώρο που θα άνηκε στον άλλο πολυμερές (αν υπήρχε μόνον διστρωματική δομή). Έτσι αυξάνεται η ροή ηλεκτρονίων και οπών μιας και μειώνεται η απόσταση που διανύει ένα εξιτόνιο προτού διασπαστεί και αυξάνεται η διεπιφάνεια δότη – δέκτη ηλεκτρονίων. Ο συντελεστής απόδοσης έχει φτάσει πειραματικά μέχρι και 4%



Εικόνα 30: Δομή ενός GHJ OPV

Οι παραπάνω δομές μπορούν να συμπεριληφθούν σε μια ολοκληρωμένη διάταξη όπως φαίνεται στην εικόνα 30 1. Η σειρά με την οποία τοποθετούνται τα υποστρώματα καθορίζει τις δύο βασικές μορφές των OPV: την κανονική (regular) και την ανεστραμμένη (inverted). Επιλέγοντας regular ή inverted δομή είναι δυνατή η επιλογή της πολικότητας της διάταξης. Επίσης, αποδεικνύεται πειραματικά πως η inverted δομή παρατείνει το χρόνο ζωής της διάταξης. Σε κάθε περίπτωση όμως επιβάλλεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη διαφάνεια των υποστρωμάτων έως το ενεργό υπόστρωμα. Τέλος, το πάχος του τελικού υμενίου είναι της τάξης των δεκάδων μm.



Εικόνα 31 : Κανονική διάταξη φωτοβολταικής κυψελίδας (α)

Inverted διάταξη φωτοβολταικής κυψελίδας (β)

3.7.3 Υλικά των Οργανικών Φωτοβολταϊκών Διατάξεων

Με βάση την εικόνα31(α) θα αναλυθούν τα επίπεδα της κανονικής διάταξης

- . επίπεδο 1 αντιστοιχεί στο υπόστρωμα То βάσης (substrate). To ulikó tou είναι κυρίως είτε γυαλί (SiO_2), είτε οι εύκαμπτοι πολυεστέρες PEN (Polyethylene 2,6naphthalate) η **PET**(polyethylene – terephthalate). $\Sigma \varepsilon \kappa \alpha \theta \varepsilon$ περίπτωση πρέπει να είναι διάφανο. Οι πολυεστέρες αυτοί κυκλοφορούν στο εμπόριο υπό μορφή ρολών. Συνήθως χρησιμοποιείται συνήθως ΡΕΤ ως υπόστρωμα βάσης. Το έχει θερμοκρασία τήξης τους 250° PET C, μέτρο ελαστικότητας (Young) E= 2-2.7GPa, και χαρακτηρίζεται ως υδρόφοβο διότι αναπτύσσονται διπλοί δεσμοί ανάμεσα στα άτομα του άνθρακά του. Για να καταστεί δυνατή η συγκόλληση του με το υλικό του επιπέδου 2, συνηθίζονται τεχνικές επιφανειακής κατεργασίας, με τις οποί οι διπλοί δεσμοί μεταπίπτουν σε απλούς αυξάνεται και ŋ επιφανειακή ενέργεια του υποστρώματος, οδηγώντας τελικά στην υδροφιλία του (άρα και στη δυνατότητα δημιουργίας δεσμών με το επόμενο υπόστρωμα)
- Στο υπόστρωμα του <u>επιπέδου 2</u> επικράτησε να χρησιμοποιείται το ITO (Indium Tin Oxide), το οποίο λειτουργεί ως ηλεκτρόδιο ανόδου. Επιλέχθηκε διότι είναι εύκαμπτο, σχεδόν διάφανο (με ελαφριά κίτρινη ή πράσινη απόχρωση εξαρτώμενη από την συγκέντρωση SnO₂) και παρουσιάζει ηλεκτρική αγωγιμότητα. Θεωρείται ημιαγωγός

n-τύπου και το ενεργειακό του χάσμα είναι περίπου 4 eV(εξ'ού και η διαφάνειά του στο ορατό φως). Είναι πολύ ακριβότερο υλικό από αυτά του επιπέδου 1. Το υψηλό κόστος οφείλεται στη δυσκολία εύρεσης του ινδίου στη φύση αλλά και στις συνθήκες κενού που απαιτούνται για την παραγωγή του ITO. Ένα άλλο ελάττωμα του ITO είναι η μικρή ευκαμψία των λεπτών υμενίων του σε σχέση με άλλα αγώγιμα υμένια ως εναλλακτικές λύσεις. Τα τελευταία μπορεί να περιλαμβάνουν αγώγιμες επιστρώσεις με CNTs (νανοσωλήνες άνθρακα). Αλλιώς, μπορεί να είναι διάφανα υμένια γραφενίου ή λεπτά μεταλλικά υμένια. Επίσης, αγώγιμα πολυμερή (PEN ήPEDOT:PSS), καθώς και ανόργανες λύσεις (οξείδια του Zn, ντοπαρισμένα με Al, Ga ή In, δηλαδήΑΖΟ, GZO, IZO αντίστοιχα) μπορούν να αντικαταστήσουν το ΙΤΟ. Αυτό είναι λιγότερο εύκαμπτο και ακριβότερο από τα οργανικά πολυμερή, τα οποία με τη σειρά τους είναι λιγότερο αγώγιμα από τα AZO,GZO,IZO. Το ITO παρουσιάζει μέτρο ελαστικότητας (Young) E = 116 GPa συγκέντρωσηSnO₂ 10% και νια ηλεκτρική αγωγιμότητα της τάξης 10⁴ S/cm. Η υδροφοβικότητά του εξαρτάται από την επεξεργασία που θα δεχθεί η επιφάνειά TOU.

- Το επίπεδο 3 περιλαμβάνει ένα buffer υπόστρωμα HTL (Hole Transport Layer), το οποίο ουσιαστικά λειτουργεί ως φίλτρο των ηλεκτρονίων επιτρέποντας έτσι τη διέλευση σχεδόν μονάχα των οπών. Συνηθίζεται η χρήση του **PEDOT:PSS**. (Είναι διάφανο, ηλεκτρικά αγώγιμο και εύκαμπτο. Με ειδική προσθήκη ουσιών όπως ΝΜΡ (Ν-Methyl-2-pyrrolidone), DMSO ($\delta \mu \epsilon \theta u \lambda - \delta \epsilon i \delta i o \tau o u \theta \epsilon i o u$) ή Σορβιτόλη (Sorbitol) επιτυγχάνεται η περαιτέρω αύξηση αγωγιμότητας TOUPEDOT:PSS, тης ηλεκτρικής καθιστώντας το ικανό να αντικαταστήσει ακόμα και το ΙΤΟ ως διάφανη κάθοδος και επιτυγχάνοντας αγωγιμότητες έως 1000 S/cm). Εναλλακτικά, αντί του PEDOT:PSS μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δεύτερες επιλογές οξείδια μεταβατικών μετάλλων, όπως το τριοξείδιο του μολυβδένιου (ΜοΟ3) και το πεντοξείδιο του βαναδίου (V₂O₅), τα οποία όμως κοστίζουν πολύ περισσότερο. Για τη δημιουργία των αντίστοιχων υμενίων πραγματοποιείται εξάχνωση με χρήση ηλεκτρικών αντιστάσεων (thermal evaporation) $\tau \omega v MoO_3 \kappa \alpha V_2O_5 \pi \alpha v \omega$ $\sigma \tau \sigma ITO u \pi \delta$ συνθήκες κενού (πίεση 10⁻⁶Torr).
- Το <u>επίπεδο 4</u> περιλαμβάνει το ενεργό τμήμα της διάταξης. Αν πρόκειται για **bilayer** διάταξη, τότε περιλαμβάνει 2 επιμέρους υποστρώματα. Το κάτω υπόστρωμα είναι δέκτης ηλεκτρονίων και το πάνω υπόστρωμα είναι δότης.

Αν, πάλι, πρόκειται για BHJ διάταξη, υπάρχει ένα ενεργό υπόστρωμα. Συνηθίζεται η χρήση των **PCBM** (δέκτης) και **P3HT**(δότης ηλεκτρονίων). Όμως, το PCBM έχει σαν δομική μονάδα το φουλερένιο (C₆₀), η παραγωγή του οποίου είναι ακριβή. Άρα, η οικονομική βιωσιμότητα της χρήσης PCBM είναι περιορισμένη για μεγάλης κλίμακας παραγωγή OPVs. Από την άλλη, το επικρατές P3HT (poly3-hexylthiophene) μπορεί να αντικατασταθεί από το MEH-PPV, το οποίο όμως παρουσιάζει μικρότερη κινητικότητα οπών (hole mobility) από το P3HT.

- Το επίπεδο 5 περιλαμβάνει το υπόστρωμα ETL (Electron Transport Layer). Μερικές φορές παραλείπεται στην regular διάταξη του OPV. Λειτουργεί σαν φίλτρο οπών, επιτρέποντας τη διέλευση ηλεκτρονίων. Προτιμάται η χρήση του ZnO εξαιτίας της πολύ υψηλότερης κινητικότητας ηλεκτρονίων που παρουσιάζει σε σχέση με την αντίστοιχη των οπών.
- Το επίπεδο 6 περιλαμβάνει το τελευταίο υπόστρωμα του υμενίου. Επιλέγεται κάποιο μέταλλο (Al, Ag, Mg, Ca) υπό μορφή μελάνης, η οποία εκτυπώνεται πάνω από το επίπεδο 5 ως το ηλεκτρόδιο καθόδου.

Με βάση την εικόνα 31 θα αναλυθούν τα επίπεδα της ανεστραμμένης διάταξης

Στην εικόνα 31,

- το <u>επίπεδο 1</u> αντιστοιχεί στο υπόστρωμα βάσης (substrate). Υπάρχει πλήρης ταύτιση με το αντίστοιχο επίπεδο 1 του σχήματος 5.
- Στο υπόστρωμα του <u>επιπέδου 2</u> επικράτησε να χρησιμοποιείται το ITO, το οποίο λειτουργεί ως ηλεκτρόδιο καθόδου.
- Το <u>επίπεδο 3</u> περιλαμβάνει ένα αντίστοιχο buffer υπόστρωμα ETL. Χρησιμοποιείται συνήθως τοZnO.
- Το επίπεδο 4 περιλαμβάνει το ενεργό τμήμα της διάταξης.
- Το <u>επίπεδο 5</u> περιλαμβάνει το αντίστοιχο υπόστρωμα HTL(Hole Transport Layer). Χρησιμοποιούμενο υλικό το PEDOT:PSS.
- Το <u>επίπεδο 6</u> περιλαμβάνει κάποια μεταλλική μελάνη (Al, Ag, Mg, Ca) που εκτυπώνεται πάνω από το επίπεδο 5 ως το ηλεκτρόδιο ανόδου.

3.7.4 Πώς συνδέονται μεταξύ τους οι φωτοβολταϊκές κυψελίδες

Τα παραπάνω σχήματα απεικονίζουν αφαιρετικά μια κυψελίδα. Όμως το OPV συνήθως αποτελείται από πολλές OSCs συνδεδεμένες σε σειρά. Μια τέτοια συστοιχία, που μπορεί μετά να συνδεθεί εν παραλλήλω με τις υπόλοιπες αντίστοιχες, παρουσιάζεται σαν παράδειγμα στην εικόνα 8: 3 inverted OSCs εν σειρά. Η ηλεκτρική σύνδεση επιτυγχάνεται με το να συνδεθεί το ηλεκτρόδιο καθόδου της μιας κυψελίδας με το ηλεκτρόδιο ανόδου της αμέσως επόμενης κ.ο.κ. Συνεπώς τα υποστρώματα δεν στοιβάζονται το ένα ακριβώς πάνω στο άλλο, αλλά με την παρακάτω μορφή. Τα υποστρώματα συνήθως προτιμάται να τοποθετούνται κλιμακωτά ώστε να μεγαλώσει η απόσταση ανόδου - καθόδου της ίδιας κυψελίδας και να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα βραχυκύκλωσής της.



Εικόνα 32: Inverted OSCs σε σειρά συνδεδεμένα

Μετά τη δημιουργία του υμενίου (regular ή inverted διάταξης), απομένει να γίνει το λεγόμενο **encapsulation**(ενθυλάκωση). Είναι απαραίτητο για την προστασία της διάταξης από τη φθορά της επιφάνειάς της (λόγω οξείδωσης από το οξυγόνο του αέρα, από μόρια νερού ή λόγω άλλων διαβρωτικών παραγόντων).Υπάρχουν διάφοροι τρόποι encapsulation.



Εικόνα 33:Παράδειγμα χρήσης εποξικών ρητινών στην ενθυλάκωση μιας OSC, όπου υπόστρωμα και επίστρωμα αποτελούνται από PEN αντί γυαλιού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΗΜΙΔΙΑΦΑΝΩΝ ΦΒ ΠΑΝΕΛ ΣΕ ΚΤΗΡΙΑ

4.1 Ανάλυση της θερμικής και της ηλεκτρικής επίδοσης ενός ημιαδιαφανούς φωτοβολταικού μοντέλου

Τα μοντέρνα κτίρια κατασκευάζονται με διάφορους τρόπους και χρησιμοποιούνται σε αυτά διάφορα υλικά. Τα ΦΒ στοιχεία αποτελούν μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε παλιά όσο και σε μοντέρνα κτίρια. Αρκετά συχνά συναντώνται κτίρια που είναι καλυμμένα με γυαλί. Ημιδιαφανή ΦΒ στοιχεία είναι κατάλληλα τύπου κτίρια. Για тην παρούσα νια τέτοιου έρευνα χρησιμοποιήθηκαν αδιαφανή κρυσταλλικά ΦΒ στοιχεία που είχαν μια ημιδιαφανή περιοχή που επέτρεπε στο φως να το διαπερνά. Τα στοιχεία αποτελούνται από 7 στρώματα: γυαλί, υλικό επίστρωσης (Ethylene Vinyl Acetate (EAV) Sheet), ΦΒ κύτταρα, υλικό επίστρωσης (EVA Sheet), γυαλί, κενό αέρος με περιθώριο και γυαλί.



Εικόνα 34: Δομή των στρωμάτων του ΦΒ μοντέλου

Προκειμένου ένα ημιδιαφανές στοιχείο να χρησιμοποιηθεί ως υαλοπίνακας, είναι απαραίτητο να έχει ένα συγκεκριμένο επίπεδο θερμικής αντίστασης. Για το λόγο αυτό ένα ακόμα

στρώμα γυαλιού χρησιμοποιήθηκε έτσι ώστε να δημιουργηθεί το απαραίτητο κενό αέρα

Πριν την κατασκευή του ΦΒ στοιχείου για αυτό το πείραμα, διεξήχθησαν κάποια πειράματα στο ηλιακό κύτταρο. Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα



Εικόνα 35: Τα αποτελέσματα από πειράματα στο ΦΒ στοιχείου

Τα διαστάσεων 5 x 5 inch πολυκρυσταλλικά ΦΒ κύτταρα πυριτίου παρουσίασαν παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ 2.5W και 2.3W. Τα 500 κύτταρα που χρησιμοποιήθηκαν παρουσίασαν κατά μέσο όρο παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 2.4W και ομοιομορφία 2.9%. Κατηγοριοποιήθηκαν με βάση τα αποτελέσματα των πειραμάτων και χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των ΦB laminates.

Τρία είδη γυάλινων στρωμάτων χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του ΦΒ στοιχείου, όπως φαίνεται στο σχήμα 1. Για το μπροστινό στρώμα χρησιμοποιήθηκε ένα γυαλί χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο (low-iron tempered glass) και για τα στρώματα στο πίσω μέρος χρησιμοποιήθηκαν διάφοροι άλλοι τύποι γυαλιού, όπως διαφανή, χρωματιστά και κατοπτρικά. Για επίσης то τελευταίο στρώμα χρησιμοποιήθηκε low-iron tempered glass παρόμοιο με αυτό του μπροστινού στρώματος.

Το γυαλί χαμηλής περιεκτικότητας σε σίδηρο είναι ένας τύπος γυαλιού υψηλής καθαρότητας που κατασκευάζεται από πυρίτιο με πολύ μικρή περιεκτικότητα σε σίδηρο. Το χαμηλό επίπεδο σιδήρου αφαιρεί την πρασινίζουσα-ιωδίδουσα απόχρωση που είναι ορατή σε μεγαλύτερες και παχύτερες επιφάνειες γυαλιού. Αυτό το είδος του γυαλιού χρησιμοποιείται σε ενυδρεία, προθήκες, παράθυρα και γενικά σε εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη ευκρίνεια.

4.1.1 Τοποθέτηση και διασύνδεση των ηλιακών κυττάρων

Το πρωτότυπο ΦΒ μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα μελέτη αποτελείται από 32 κύτταρα πυριτίου (p-Si) εν σειρά συνδεδεμένα. Περιέχονται και δίοδοι παράκαμψης (bypass Diodes) που προστατεύουν τη ΦΒ μονάδα από το φαινόμενο hot spot που προκαλείται από μερική σκίαση και από άλλες φθορές. Το σχήμα 3 δείχνει το κύκλωμα



Εικόνα 36:Η διάταξη του ΦΒ μοντέλου

4.1.2 Η περιγραφή του πειράματος4.1.2.1 Η ρύθμιση του αισθητήρα θερμοκρασίας

Προκειμένου να αναλυθεί η μετάδοση θερμότητας και η διακύμανση της θερμοκρασίας μεταξύ των στρωμάτων, αισθητήρες θερμοκρασίας τοποθετήθηκαν σε κάθε στρώμα (έμπροσθεν, όπισθεν, πλαγίως και στο κενό) όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



P1 : Front (T/C) / P2 : Backside (T/C) / P3 : Air gap (RTD) P4 : Last backside(T/C)

Εικόνα 37:Η τοποθέτηση των αισθητήρων

Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκαν θερμοζεύγη (Type T) για κάθε επιφάνεια και θερμόαντιστασεις (Resistance Temperature Detector (RTD)) στο κενό

4.1.2.2 Ο εξοπλισμός

Ο ηλιακός προσομοιωτής που χρησιμοποιήθηκε στο πείραμα Pasan IIIb (Balval, Switzerland). Έχει προγενέστερα ήταν χρησιμοποιηθεί σε οικιακά πειράματα σε ΦΒ μοντέλα, στην Κορέα. Ο ηλιακός αυτός προσομοιωτής έχει διάρκεια παλμού 10 ικανότητα σταθεροποίησης μεγαλύτερη από σε ms, 1% επιφάνεια 3mx3m και αυστηρότερο έλεγχο σε φασματική αντιστοίχιση. Με βάση τα χαρακτηριστικά αυτά, έχει μια απόδοση με έναν παράγοντα έναντι καλύτερη 2 των

προσδιορισμών κλάσης Α της Διεθνούς Ηλεκτροτεχνικής Επιτροπής (International Electrotechnical Commission (IEC))

4.1.2.3 Εγκατάσταση

Τα ΦΒ μοντέλα τοποθετήθηκαν σε ένα αίθριο μπαλκονιού όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα



Εικόνα 38: Η τοποθέτηση των ΦΒ μοντέλων στο αίθριο

Στην κατασκευή τοποθετήθηκαν και δύο πυρανόμετρα για τη μέτρηση της ηλιακής ακτινοβολία

Το πυρανόμετρο αποτελεί αξιόπιστο όργανο, σχεδιασμένο για να χρησιμοποιείται για μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ετυμολογία της λέξης πυρανόμετρο προκύπτει από τις ελληνικές λέξεις πυρ (φωτιά), άνω (ψηλά) και μέτρο. Συγκεκριμένα το πυρανόμετρο χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια. Επίσης, χρησιμοποιείται και για τη μέτρηση της ανακλώμενης μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας (albedo) όταν τοποθετείται απέναντι στη θάλασσα.



Εικόνα 39: Πυρανόμετρο

Μελετήθηκαν μόνο τα μοντέλα που ήταν τοποθετημένα κάθετα και τα προσανατολισμένα προς νότο

4.1.3 Αποτελέσματα

4.1.3.1 Ηλεκτρική απόδοση των ΦΒ μονάδων σε πρότυπες συνθήκες πειράματος

Σε αυτό το πείραμα χρησιμοποιήθηκαν γυαλιά διαφόρων υλικών, όπως συνηθισμένης καθαρότητας, πράσινο (κανονικό και αντικατοπτρισμού), μπλέ (αντικατοπτρισμού) και μπρούντζινο γυαλί



Εικόνα 40: Μπρούντζινο γυαλί

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των παραπάνω υλικών, όπως ρεύμα, τάση και ισχύς ήταν όμοια κάτω από πρότυπες συνθήκες πειράματος (STC) σε ηλιακή ακτινοβολία 1000 W/m² και για θερμοκρασία 25°C. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η χαρακτηριστική I-V και η διαφορά θερμοκρασίας για τις μονάδες που είχαν χρωματιστό γυαλί.



Εικόνα 41: Ι-V καμπύλες για διάφορα γυαλιά μετρημένες σε πρότυπες συνθήκες πειράματος

Τα παραπάνω αποτελέσματα έδειξαν ότι το χρώμα που υπήρχε στην πίσω όψη είχε πολύ μικρή επιρροή στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπό πρότυπες συνθήκες πειράματος. Επίσης επιβεβαιώθηκε η ομοιομορφία ισχύος των χρησιμοποιούμενων μοντέλων

4.1.4 Αποτελέσματα της μέτρησης της θερμοκρασίας σε εξωτερικές συνθήκες

4.1.4.1 Διακύμανση θερμοκρασίας

Αρχικά αναλύθηκε η διακύμανση ταχύτητας μιας ΦΒ μονάδας που είχε καθαρό γυαλί στην πρόσοψη. Η παρατήρηση της θερμοκρασίας άρχισε τον Μάιο του 2007. Το παρακάτω σχήμα δείχνει τα αποτελέσματα της ακτινοβολίας, της εξωτερικής θερμοκρασίας και της διακύμανσης της θερμοκρασίας ενός ημιδιαφανούς πλαισίου στη διάρκεια της άνοιξης (Μάιος) και του καλοκαιριού (Αύγουστος).



Εικόνα 42: Διακύμανση θερμοκρασίας του ΦΒ μοντέλου κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης ημέρας (Μάιος 2007)

Η διακύμανση της ταχύτητας σε κάθε στρώμα ήταν παρόμοια. Στη διάρκεια όμως της ημέρας, η διαφορά θερμοκρασίας σε κάθε στρώμα αυξάνονταν. Η μεγαλύτερη διαφοροποίηση παρατηρήθηκε μεταξύ 12:00 και 15:00. Μετά από αυτή την ώρα και μέχρι τη δύση του ηλίου, η διαφορά μειώνονταν και μετά τη δύση του ηλίου η θερμοκρασία σε όλα τα στρώματα ήταν παρόμοια.

Η θερμοκρασία του κενού ήταν η υψηλότερη και ακολουθούσε η θερμοκρασία στο πίσω γυαλί. Στην μελέτη υποτέθηκε ότι η θερμοκρασία της επιφάνειας του πίσω υποστηρικτικού γυαλιού λαμβάνεται υπόψη στη θερμοκρασία όλου το ΦΒ μοντέλου και επηρεάζει την παραγωγή της ηλεκτρικής του ενέργειας.

Επειδή το κενό αέρος δεν εφάπτονταν με το ΦΒ κύτταρο, το γυάλινο στρώμα που δημιουργούσε το κενό αέρος επηρεάζονταν περισσότερο από τις συνθήκες του εσωτερικού περιβάλλοντος, όπως την εσωτερική θερμοκρασία και τις πηγές θέρμανσης ή κλιματισμού. Η μεταβολή της θερμοκρασίας είχε τον ίδιο ρυθμό όλες τις εποχές. Η διακύμανση της θερμοκρασίας ήταν ανάλογη με την εξωτερική θερμοκρασία, την ακτινοβολία και τα χαρακτηριστικά του υλικού.

4.1.4.2 Ανάλυση της θερμοκρασίας του στοιχείου

Προκειμένου να αναλυθεί η θερμοκρασία ανάλογα με το χρησιμοποιούμενο γυαλί, συγκρίθηκαν δύο μοντέλα. Ένα με καθαρό γυαλί και ένα με μπρούντζινο γυαλί. Η επόμενη εικόνα δείχνει τη διακύμανση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά τη διάρκεια μιας τυπικής ημέρας το καλοκαίρι και τον χειμώνα. Επιλέχθηκαν ημέρες κοντά στο θερινό και στο χειμερινό ηλιοστάσιο



Εικόνα 43:Σύγκριση θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Όπως φαίνεται στην εικόνα η μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος που μετρήθηκε κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ήταν 21.1°C και 6.4°C το χειμώνα.

Αλλά η μέση μετρούμενη θερμοκρασία του μοντέλου ήταν αντίθετη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα η θερμοκρασία του μοντέλου το χειμώνα ήταν μεγαλύτερη από ότι το καλοκαίρι.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η διακύμανση της τάσης σε ένα μοντέλο. διακύμανση ημιδιαφανές ΦВ Н πιστεύεται ÓΤΙ οφείλονταν στη διαφορά της ακτινοβολίας παρά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.



Εικόνα 44: Σύγκριση της θερμοκρασίας του ΦΒ μοντέλου (α)Χειμώνας(Δεκέμβριος 2007) (b)Καλοκαίρι (Ιούνιος 2008)

Επειδή το ΦΒ μοντέλο τοποθετήθηκε κάθετα, η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας πάνω του διαφοροποιούνταν ανάλογα με την εποχή. Επειδή το καλοκαίρι η τροχιά του ήλιου είναι υψηλότερη, λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία προσέπιπτε στο ΦΒ μοντέλο. Επιπρόσθετα, στην Κορέα όπου διεξήχθη το πείραμα, την περίοδο των βροχών, υπάρχει λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία.

Στην εικόνα 45(α) παρακάτω που δείχνει τη διακύμανση της ακτινοβολίας που μετρήθηκε κατά τη διάρκεια του πειράματος είναι ορατή η διαφορά μεταξύ της ακτινοβολίας χειμώνα και καλοκαιριού. Η εικόνα 45(b) δείχνει τα επίπεδα της ακτινοβολίας που μετρήθηκαν στο ΦΒ μοντέλο την ίδια μέρα





Τέλος στην εικόνα φαίνεται η θερμοκρασία του μοντέλου το χειμώνα και το καλοκαίρι, όπου ξεκάθαρα φαίνεται πως η ακτινοβολία το χειμώνα είναι μεγαλύτερη



Εικόνα 46:Σύγκριση της εξόδου του ΦΒ μοντέλου (α)Χειμώνας (b) Καλοκαίρι

Από την εικόνα 46 φαίνεται ότι και ο τύπος του γυαλιού επηρεάζει τη θερμοκρασία του ΦΒ μοντέλου. Στη διάρκεια μιας ημέρας για παράδειγμα, το χειμερινής μοντέλο βų τо μπρούντζινο γυαλί παρουσιάζει μεγαλύτερη θερμοκρασία σε σχέση με το μοντέλο με το καθαρό γυαλί. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται περισσότερο μπρούντζινο γυαλί. Н διαφοροποιήσεις από тο στη θερμοκρασία, μπορούν να εξηγηθούν και με βάση τις διαφορετικές ιδιότητες των δύο τύπων γυαλιών, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί.

		Clear	Bronze
Visible Spectrum	Transmittance (%)	92	43
	Reflectance (%)	8	5
Solar radiation	Transmittance (%)	90	46
	Reflectance (%)	8	5
	Absorptance (%)	2	49

Πίνακας 1: Οι ιδιότητες του γυαλιού

Είναι προφανές ότι η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας από το μπρούντζινο γυαλί ήταν πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με αυτή του καθαρού γυαλιού. Με ρυθμό απορρόφησης 49%, είναι προφανές ότι το μπρούτζινο γυαλί θα προκαλέσει αύξηση του ΦΒ μοντέλου όταν αυτό εκτεθεί σε ηλιακή ακτινοβολία. Από την άλλη μεριά, το καθαρό γυαλί που χρησιμοποιήθηκε στο πίσω μέρος του μοντέλου επιτρέπει περισσότερο φως μέσα στο κτίριο αφού η φωτεινή του διαπερατότητα είναι 92% σε αντίθεση με του μπρούντζινου γυαλιού που είναι 43%.

4.1.4.3 Ανάλυση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του ΦΒ μοντέλου

Στην εικόνα 46 φαίνεται η διαφορά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με βάση τις εποχές και τον τύπο του γυαλιού. Μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι το μοντέλο παρήγαγε περισσότερη ενέργεια το χειμώνα παρά το καλοκαίρι και ότι το καθαρό γυαλί είχε σαφώς καλύτερες επιδόσεις σε σχέση με το μπρούντζινο. Το γεγονός αυτό δείχνει ότι η ηλεκτρική απόδοση των ΦΒ μοντέλων σχετίζεται με την διακύμανση της θερμοκρασίας τους: ένα ΦΒ μοντέλο με υψηλότερη θερμοκρασία μπορεί να μειώσει την ηλεκτρική παραγωγή του.

Στην εικόνα 47 φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε πρότυπες συνθήκες πειράματος, με εξαίρεση τη θερμοκρασία του ΦΒ μοντέλου που άλλαζε από τους 25°C στους 65°C. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η τάση μειώνονταν κατά 0.49% και το ρεύμα αυξάνονταν κατά 0.01% για αύξηση κατά 1°C του ΦΒ μοντέλου. Επίσης τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η θερμοκρασία του ΦΒ μοντέλου επηρέαζε την ηλεκτρική του απόδοση: παρατηρήθηκε μείωση κατά 0.48% στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C



Εικόνα 47: Ηλεκτρική απόδοση του ΦΒ μοντέλου σε διακύμανση θερμοκρασίας σε STC

Η εικόνα 48 δείχνει αποτελέσματα μετρήσεων που διεξήχθησαν σε εξωτερικό περιβάλλον. Αναλύθηκαν δεδομένα που μετρήθηκαν σε ακτινοβολία 500 W/m² και δεν ήταν εύκολο να ικανοποιηθούν οι πρότυπες συνθήκες πειράματος (STC) καθώς το ΦΒ μοντέλο ήταν τοποθετημένο κάθετα. Παρ'όλ'αυτά τα χαρακτηριστικά της τάσης και του ρεύματος φαίνεται να είναι παρόμοια με αυτά των STC. Η ισχύς μειώθηκε κατά 0.52% για αύξηση κατά 1°C



Εικόνα 48: Ηλεκτρική απόδοση του ΦΒ μοντέλου σε διακύμανση θερμοκρασίας σε εξωτερικές συνθήκες

4.2 Ενεργειακή ανάλυση ημιδιαφανών ΦΒ πάνελ σε κτηριακά συγκροτήματα γραφείων

Το Χονγκ Κονγκ δεν διαθέτει ενδογενή καύσιμα και τα περισσότερα εισαγόμενα ενεργειακά προϊόντα είναι ορυκτά καύσιμα που χρησιμοποιούνται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πολλά έμμεσα αποτελέσματα είναι ορατά από τη χρήση αυτών των καυσίμων στο περιβάλλον, όπως εκπομπές θερμοκηπίου και ρυπογόνες εκπομπές από την καύση των ορυκτών καυσίμων.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορούν να διαδραματίσουν έναν σημαντικό ρόλο στην αντικατάσταση μεγάλων ποσοτήτων ορυκτών καυσίμων. Πιο συγκεκριμένα, η ηλιακή ενέργεια θεωρείται ως η κατάλληλη πηγή ενέργειας για ευρεία χρήση στο Χονγκ Κονγκ. Μία από τις πολλά υποσχόμενες εφαρμογές της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η εγκατάσταση ΦΒ που παράγουν ενέργεια χωρίς να εκπέμπουν ρύπους και δεν απαιτούν καθόλου καύσιμα. Παρ'όλα αυτά, οι ΦΒ συστοιχίες δεν είναι πολύ δημοφιλείς για κτηριακές δομές. Εμπόδια στην χρήση τους αποτελούν το υψηλό αρχικό κόστος καθώς και η χαμηλή παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς.

Στο Χονγκ Κονγκ το 65%της ηλεκτρική ενέργειας καταναλώνεται από εμπορικούς καταναλωτές. Η καταναλισκόμενη ηλεκτρική ισχύς στα εμπορικά κτήρια, χρησιμοποιείται προκειμένου να δημιουργήσει ένα άνετο θερμικό και οπτικό περιβάλλον μέσω κλιματισμού και τεχνητού φωτισμού. Προηγούμενες μελέτες έχουν δείξει ότι ο κλιματισμός και ο φωτισμός αντιπροσωπεύουν πάνω από τα δύο τρίτα της συνολικής καταναλισκόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στα κτήρια. Το κέρδος από την θέρμανση μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω ανοιγμάτων (παράθυρα) συμβάλλει κατά πολύ στη θέρμανση του κτιρίου. Το φως της ημέρας, αδιαμφισβήτητα συμβάλλει στην οπτική άνεση, και στην ενεργειακή οικονομία. Οι άνθρωποι προσδοκούν καλό φυσικό φωτισμό στις θέσεις εργασίας τους. Εξοικονόμηση ενέργειας από τον φυσικό φωτισμό δεν σημαίνει μόνο μειωμένες ανάγκες ηλεκτρική ενέργεια, αλλά και μειωμένες ανάγκες σε σε εγκαταστάσεις θέρμανσης, κλιματισμού και εξαερισμού (ΗVAC smaller heating, ventilating and airconditioning). Ta ημιδιαφανή φωτοβολταικά πάνελ για κτίρια (Semi-transparent building integrated photovoltaic (BIPV) panels) μπορούν να παρέχουν ηλεκτρική ενέργεια και φυσικό φωτισμό που βελτιώνουν την οπτική άνεση, μειώνουν τη ζήτηση για ηλεκτρική ενέργεια και

για κλιματισμό και διατηρούν σε χαμηλό επίπεδο το κόστος συντήρησης των κτηρίων.

Τα BIPV πάνελ θα ήταν κατάλληλα για κτήρια με κλιματισμό. Σε αυτά τα συστήματα πολύ σημαντικός παράγοντας είναι ο κύκλος ζωής τους. Στην παρούσα μελέτη αναλύονται τα ημιδιαφανή BIPV συστήματα που χρησιμοποιούνται σε κτήρια με κλιματισμό σε συνδυασμό με το φως της ημέρας. Αναλύονται τεχνικές πληροφορίες όπως ο φυσικός φωτισμός, η ηλιακή ακτινοβολία και η παραγόμενη ισχύς. Οι επιδόσεις αυτών των πάνελ εξετάζεται με όρους ενεργειακούς, περιβαλλοντικούς και οικονομικούς και συζητούνται οι επιπτώσεις.

4.2.1 Μετρήσεις

Χρησιμοποιήθηκε ένα πάνελ άμορφου πυριτίου ιαπωνικής κατασκευής ενεργού εμβαδού 0.84 m² για τις μετρήσεις. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει τις τεχνικές παραμέτρους του κατασκευαστή για το πάνελ που χρησιμοποιήθηκε.

Πίνακας 2:Παράμετροι επίδοσης του ΦΒ πάνελ	από	τον
κατασκευαστή		

Output power	44 W
Maximum power voltage	59.6 V
Maximum power current	0.74 A
Open circuit voltage	91.8 V
Short circuit current	0.97 A
Visible light transmittance	10.6%
Solar energy transmittance	10.0%
Shading coefficient	0.27

Οι μετρήσεις έλαβαν χώρα σε οικιακές εγκαταστάσεις τον Ιούλιο του 2007. Το δωμάτιο ήταν στον 20° όροφο ενός κτηρίου κατοικιών με δυτικό προσανατολισμό (260°) με διαστάσεις 2.95 m (βάθος) ×2.14 m (πρόσοψη με παράθυρο). Δημιουργήθηκε και ένα τοιχίο ώστε να περιορίζει μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα παράθυρα ήταν ανοικτά κατά τη διάρκεια των μετρήσεων ώστε να επιτρέπουν την απρόσκοπτη πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας και του ηλιακού φωτός πάνω στο πάνελ. Βέβαια κάποια μέρη του ουρανού δεν ήταν ορατά λόγω του τοιχίου και των παραθυρόφυλλων. Οι πληροφορίες συλλέγονταν κατά τη διάρκεια της ημέρας με σβηστά όλα τα φώτα. Το πάνελ ήταν συνδεδεμένο με έναν ηλιακό ελεγκτή (solar controller) ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση ενέργειας στην έξοδο, εντοπίζοντας κάθε φορά το μέγιστο σημείο ισχύος (maximum power point (MPPT)). Η παραγόμενη ενέργεια αποθηκεύονταν σε μια μπαταρία 12 V

4.2.2 Χρήση του εξοπλισμού

Οι μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας, της φωτεινής ενέργειας και της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από το ημιδιαφανές πάνελ πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια δύο πυρανόμετρων, δύο μετρητών φωτεινής ενέργειας και από έναν αναλυτή ισχύος, αντίστοιχα.

Τα πυρανόμετρα με ακρίβεια ±3% ήταν συνδεδεμένα στο πρόγραμμα LabVIEW το οποίο πραγματοποιούσε υπολογισμούς κάθε ένα λεπτό. Τα δεδομένα αποστέλλονταν για αποθήκευση σε ένα notebook μέσω καλωδίου USB.

Παρόμοια, τα δεδομένα της προσπίπτουσας φωτεινής ενέργειας συλλέγονταν από δύο μετρητές φωτεινής ενέργειας. Τα φωτοκύτταρα πυριτίου που περιείχαν οι μετρητές, με διόρθωση συνιμητόνου και χρώματος, μετρούσαν μέχρι και 300 klux με ακρίβεια ±2%.

Ένας αναλυτής ενέργειας χρησιμοποιήθηκε για να μετρηθεί η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την μετάδοση των δεδομένων από τον αναλυτή στο notebook προκειμένου να αποθηκευτούν, ονομάζεται called Fluke View Power Quality Analyzer V2

Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων διεξήχθησαν και έλεγχοι ποιότητας ώστε να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα μέτρησης ψευδών πληροφοριών και ανακριβών μετρήσεων. Συλλέγονταν περί τα 2500 δείγματα το λεπτό για κάθε μία από τις τρεις παραμέτρους αν και σε κάποιες μικρές περιόδους χάνονταν κάποιες πληροφορίες

4.2.3 Φωτεινή ενέργεια

Στη συνέχεια φαίνονται οι γραφικές αναλύσεις που προέκυψαν από τις μετρήσεις της φωτεινής ενέργειας. Στην εικόνα 1 φαίνεται η συμπεριφορά της φωτεινής ενέργειας πάνω και πίσω από το πάνελ, σε μια μη συννεφιασμένη ημέρα. Μπορεί κανείς να παρατηρήσει ότι οι δύο καμπύλες έχουν σχεδόν ίδια μορφή και κορυφώνονται στο ίδιο σημείο, γεγονός που σημαίνει ότι οι μετρήσεις διεξήχθησαν με το σωστό τρόπο. Μια ανομοιομορφία μπορεί να παρατηρηθεί μεταξύ 14:00 και 14:30. Αυτό οφείλεται στο ότι οι δύο αισθητήρες δεν ήταν συνδεδεμένοι ακριβώς στο ίδιο σημείο και αυτή τη χρονική περίοδο, μόνο ο ένας εκ των δύο μετρούσε την απευθείας προσπίπτουσα ακτινοβολία. Λόγω του δυτικού προσανατολισμού του παραθύρου, η ηλιακή ακτινοβολία ήταν περισσότερο συγκεντρωμένη το απόγευμα παρά τις πρωινές ώρες



Εικόνα 49: Μετρούμενος φωτισμός μιας τυπικής ηλιόλουστης ημέρας

Η ορατή διαπερατότητα του ημιδιαφανούς πάνελ αποτελεί σημαντική παράμετρο προκειμένου να προσδιορισθεί n ποσότητα του φυσικού φωτός που υπάρχει εσωτερικά στο χώρο. Η μέγιστη φωτεινότητα ήταν 70000 lux και στο δωμάτιο διαδόθηκαν τα 9050 lux, ποσοστό δλδ 12.9%. εκτός από τις πληροφορίες μεταξύ 14:00 και 14:30,όλες οι άλλες μετρήσεις συλλέχθηκαν για περαιτέρω ανάλυση και επεξεργασία. Η εικόνα 50 δείχνει την μεταδιδόμενη φωτεινότητα μέσα από το πάνελ σε σχέση με τη συνολική εξωτερική φωτεινότητα. Όπως μπορεί κανείς να παρατηρήσει, υπάρχει γραμμική σχέση μεταξύ τους. Μέσω ανάλυσης παλινδρόμησης, η συσχέτιση μεταξύ των δύο μεγεθών υπολογίστηκε 0.117 (11.7%). Οπότε η μέση ορατή διαπερατότητα του πάνελ είναι 11.7%





4.2.4 Ηλιακή ακτινοβολία

Η συμπεριφορά του πάνελ στην ηλιακή ακτινοβολία μετρήθηκε την ίδια μέρα και φαίνεται στην εικόνα 51.



Εικόνα 51: Μετρούμενη ηλιακή ακτινοβολία μιας τυπικής ηλιόλουστης ημέρας

Η μορφή της καμπύλης είναι παρόμοια με αυτή της εικόνας 49. Δεδομένου ότι η ηλιακή ακτινοβολία και ο εξωτερικός φωτισμός έχουν κοινά χαρακτηριστικά στη φύση, οι διακυμάνσεις της φωτεινής αποτελεσματικότητας θα ήταν παρόμοιες (δλδ η αναλογία φωτεινής ακτινοβολίας σε σχέση με την ηλιακή ακτινοβολία) κάτω από τον ίδιο ουρανό. Έτσι τα προς επεξεργασία δεδομένα της ηλιακής ακτινοβολίας και της φωτεινής ακτινοβολίας ήταν ακριβή και αξιόπιστα. Η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία (555 W/m²) μετρήθηκε στις 16:00. H μεταδιδόμενη ηλιακή ακτινοβολία ήταν 64 W/m^{2.} Η ηλιακή διαπερατότητα του ημιδιαφανούς πάνελ αποτελεί βασικό στοιχείο για τον υπολογισμό του θερμικού κέρδους ενός κτιρίου. Η εικόνα 52 δείχνει τη συσχέτιση μεταξύ της πραγματικής και της μεταδιδόμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Μια γραμμική σχέση μεταξύ των δύο εμπλεκόμενων μεγεθών είναι εμφανής



Εικόνα 52: Συσχέτιση μεταξύ πραγματικής και μεταδιδόμενης ηλιακής ακτινοβολίας

4.2.5 Παραγόμενη ισχύς

Η ποσότητα της παραγόμενης ενέργειας από το πάνελ αποτελεί σημαντικό παράγοντα στο σχεδιασμό μιας εφαρμογής που θα ικανοποιεί τις ενεργειακές απαιτήσεις (όλες ή μέρος) μιας οικίας. Το ιδανικό θα ήταν το φορτίο να καλυπτόταν από το ηλιακό δυναμικό, πράγμα που είναι εφικτό στο υποτροπικό κλίμα του Χονγκ-Κόνγκ όπου ο κλιματισμός κατά τους θερινούς μήνες απαιτεί πάνω από το 50% της ολικής κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η αποδοτικότητα της μετατροπής της ενέργειας που προσδιορίζεται σαν ο λόγος της παραγόμενης ισχύος προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία στο πάνελ, ποικίλει από ώρα σε ώρα. Η εικόνα 53 παρουσιάζει το ημερήσιο προφίλ της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Η γενική μορφή δεν είναι πανομοιότυπη με τη μορφή των καμπυλών των εικόνων 1 και 3 αλλά οι μέγιστες τιμές ήταν σχεδόν ίδιες. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι το ποσό της παραγόμενης από το πάνελ, ισχύος εξαρτώνται από τις διαθέσιμες ποσότητες της ηλιακής ακτινοβολίας και του φυσικού φωτισμού. Η απόδοση του πάνελ



Εικόνα 53:Καθημερινό μοντέλο της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΡΙΕΣ ΕΤΑΙΡΙΕΣ ΔΙΑΦΑΝΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

5.1 Η εταιρεία SolarWindow Technologies προωθεί τα διαφανή φωτοβολταΐκά της στην αγορά

Η start-up εταιρεία SolarWindow Technologies που εδρεύει στην πόλη Columbia της πολιτείας Maryland, ΗΠΑ υποστηρίζει ότι η τεχνολογία της μπορεί να παράξει 50 φορές περισσότερη ενέργεια από τα συμβατικά φωτοβολταϊκά πάνελ.

Σε αντίθεση με τα συμβατικά και «θολά» φωτοβολταϊκά πάνελ, η τεχνολογία SolarWindow μπορεί να εφαρμοστεί άμεσα ως επικάλυψη σε οποιοδήποτε γυάλινο ή πλαστικό παράθυρο και να παράξει άμεσα ηλεκτρισμό, ακόμα και υπό συνθήκες σκιάς ή τεχνητού φωτισμού.

Σύμφωνα με την εταιρεία, το SolarWindow παράγει φθηνότερη ηλιακή ενέργεια και επιτρέπει την ταχύτατη απόσβεση της επένδυσης σε διάστημα μικρότερο του ενός έτους τη στιγμή που τα συμβατικά φωτοβολταϊκά έχουν χρόνο απόσβεσης από πέντε έως έντεκα χρόνια. Παρακάτω φαίνονται συγκριτικοί πίνακες που έχουν δοθεί από την εταιρεία.

Στους πίνακες φαίνεται η χρήση της τεχνολογίας SolarWindow σε σχέση με τεχνολογίες που χρησιμοποιούν άλλα υλικά και η σχέση της τεχνολογίας με τα περιβαλλοντικά οφέλη που αποκομίζονται από τη χρήση της, όσον αφορά εκπομπές CO₂ και διατήρηση δασών.

kWh Production - SolarWindow™ vs. Conventional Solar - US Cities

Equivalency Estimates (Annually)	PV Solar Technologies							
	Copper indium Gollium Selenium (OOI)	Cadmium Telluride (CdTe):	Copper Indium Selenium (CIS):	Triple Ametion Amarphase SI (A-SI):	Crystalline Silicone Mono (C-5):	Crystalline Silicone Poly (C-SI):	Hybrid Moor & Amorphese (H&A-SI):	
Manhattan, NY	62,560	45,110	57,750	23,870	77,610	71,910	86,940	1,112,400
Savannah, GA	69,360	\$0,020	64,020	26,460	86,090	79,780	96,390	1,233,310
Lensing, Mi	57,120	41,190	52,720	21,790	70,800	55,000	79,380	1,015,670
Chicago, IL	59,840	43,150	55,230	22,830	74,240	68,790	\$3,160	1,064,030
San Francisco, CA	78,440	52,960	67,790	28,020	91,110	84,420	102,060	1,305,860
Amarillo, TX	78,880	56,880	72,810	50,090	97,850	90,670	109,620	1,402,590
Miami, PL	75,440	52,960	67,790	28,020	91,110	84,420	102,060	1,305,860
Baltimore, MD	62,560	45,110	\$7,750	23,870	77,610	71,910	86,940	1,112,400
Denver, 00	77,520	\$5,900	71,550	29,580	96,170	89,110	107,730	1,378,410
Phoenix, AZ	88,390	65,750	81,590	35,730	109,660	101,610	122,850	1,571,870
Nashwille, TN	66,640	48,060	61,510	25,430	82,670	76,600	92,610	1,184,950

SolarWindow[™] vs. Conventional Solar - Miles Driven per Year

Equivalency Estimates (Annually)		PV Solar Technologies									
Annual Green House Emissions From	Copper Inclum Gallium Selenium (CIOS):	Cadmium Telluride (CdTe):	Copper Indium Selenium (CIS):	Triple Junction Amorphous SI (A-SI);	Crystaline Silkone Mono (C-Si):	Crystalline Silicone Poly (C-SI):	Hybrid Mano & Amorphous (M&A-SI):				
Miles/Near Driven by an average passenger vehicle - Based in Amarillo, TX	127,210	91,740	117,420	48,530	157,820	146,230	176,790	2,262,130			

SolarWindow™ vs. Conventional Solar - Homes Powered by Electricity Production

Equivalency Estimates (Annually)		PV Solar Technologies									
Decryy & Consfort	Copper Indium Dellium Sefenium (CIGS):	Cədmium Telluride (CdTe).	Copper Indium Selenium (OS):	Triple Aution Amorphous Si (A-Si):	Crystalline Silkone Miano (C-Si):	Crystalline Silicone Poly (C-Sil)	Hybrid Mono & Amorphous (H&A Si):	SOLAR WINDOW			
Homes Powered - Based in Phoenix, AZ	5	5	7	5	10	9	11	130			

SolarWindow™ vs. Conventional Solar - Acres of U.S. Forests

Equivalency Estimates (Annually)		PV Solar Technologies								
Carbon Sequestered by	Copper Inclum Gollium Scienium (ODS):	Cadmium Telluride (CdTe):	Copper Inclum Selenium (CB):	Tilgle American Ameripheus Si (A-SI):	Crystalline Silicone Mono (C-Si):	Crystalline Silkone Poly (C-Sil:	Hybrid Mono & Amorphous (H&A-SQ:			
Acres of U.S. forests in one year - Based in Denver, CO	50	40	50	20	60	60	70	770		

Notes

1. Energy estimates based on PV system installed on a 50-story building in various US Cities.

2. Estimates modeled using Company's Proprietary Power Production Model.

SolarWindow's Proprietary Power Production Model (Power Model) uses Photovoltais (PV) modeling calculations that are consistent with renewable energy practitioner standards for assessing, evaluating, and estimating renewable energy for a PV project. The Power Model estimator takes into consideration building geographic location, solar radiation for flat-plate collectors (SolarWindow¹⁴ irradiance is derated to account for 360° building orientation and vertical installation), climate zone energy use, and generalized systemper building characteristics when estimating PV power and energy production, and Carbon Dioxide (CO). Equivalents. Actual power, energy production and CO, Equivalents modeled may very based upon building to building to building injustional characteristics, and varying installation methodologies.

Εικόνα 54: Συγκριτικοί πίνακες που δείχνουν τη χρήση της τεχνολογίας SolarWindow σε σχέση με τεχνολογίες που χρησιμοποιούν άλλα υλικά και η σχέση της τεχνολογίας με τα περιβαλλοντικά οφέλη που αποκομίζονται από τη χρήση της, όσον αφορά εκπομπές CO₂ και διατήρηση δασών



1. Energy estimate based on a PV system installed on a 50-story building in Deriver, CO.

Forest acre estimates are based on PV array energy and equivalent Greenhouse (CD,) Gas.
Estimates modeled using Company 's Proprietary Power Production Model: www.solarwindow.com/powermodel/

Εικόνα 55:Περιβαλλοντικά οφέλη των προϊόντων της SolarWindow σε σχέση με άλλα προϊόντα

Τα νούμερα είναι εντυπωσιακά. Μια μόνο εγκατάσταση της τεχνολογίας μπορεί να αποτρέψει εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ίσες με αυτές που εκπέμπουν αυτοκίνητα που έχουν διανύσει 3,5 εκατ. χιλιόμετρα, όγκος δώδεκα φορές μεγαλύτερος από τα συμβατικά.



Εικόνα 56:Εκπομπές που αποφεύγονται μέσω των προϊόντων της SolarWindow σε σχέση με άλλα προϊόντα Οι διάφανες φωτοβολταϊκές κυψέλες θα μπορούσαν να μετατρέψουν από τους γυάλινους ουρανοξύστες των αμερικανικών μεγαλουπόλεων μέχρι τα smartphones σε μηχανές παραγωγής καθαρής ενέργειας.

Ωστόσο, η αποδοτικότητα αυτού του πρωτοτύπου, δηλαδή το ποσοστό μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ενέργεια, δεν ξεπερνούσε το **1%** τη στιγμή που τα συμβατικά πάνελ επιτυγχάνουν 20% έως 25%.

Η τεχνολογία της SolarWindows Technologies είναι μια διαφορετική ιστορία. Η επικάλυψη βασίζεται κατά κύριο λόγο σε οργανικές ουσίες και αποτελούνται από άνθρακα, υδρογόνο, άζωτο και οξυγόνο.

Η επίτευξη αποδοτικότητας **50 φορές υψηλότερης** από αυτή των συμβατικών φωτοβολταϊκών προϋποθέτει την ενεργειακή μετατροπή του μη ορατού φάσματος.

Η επικάλυψη (φιλμ) αποτελείται από διαφανή υγρά τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Η επικάλυψη αυτή μπορεί να εφαρμοσθεί σε χρώματα κατάλληλα για κάθε κτίριο, επιτυγχάνοντας έτσι και ένα βέλτιστο αισθητικό αποτέλεσμα.



Εικόνα 57:Φιλμ με επικάλυψη

Τα φιλμ μπορούν να εφαρμοστούν στο **εσωτερικό των** υαλοπινάκων και όχι στο εξωτερικό ώστε να προστατεύονται
από τα στοιχεία της φύσης (βροχή, ζέστη, αέρα κλπ). Οι επιστρώσεις έχουν αναπτυχθεί με τρόπο ώστε να προσαρμόζονται άμεσα και χωρίς μετατροπές στις υπάρχουσες διαδικασίες κατασκευής υαλοπινάκων ώστε να μειωθεί περαιτέρω το κόστος. «Αόρατες καλωδιώσεις» στο γυαλί μετατρέπουν τα φωτόνια σε ηλεκτρισμό, αλλά από την άλλη πλευρά δίνουν ένα οπτικό στίγμα ώστε τα πουλιά να μην συγκρούονται με τα παράθυρα. Παρακάτω φαίνεται το ποσοστό των σπιτιών που αυτή τη στιγμή χρησιμοποιούν την τεχνολογία



Εικόνα 58:Ποσοστό κατοικιών που παίρνουν ενέργεια από την SolarWindow

Η εταιρεία υποστηρίζει ότι η διάρκεια ζωής της τεχνολογίας μπορεί να φτάσει τα 25 έτη, όση δηλαδή και τα συμβατικά πάνελ.

Σε εθνικό επίπεδο, στις ΗΠΑ, ο παρακάτω χάρτης δείχνει την ξεκάθαρη υπεροχή της τεχνολογίας



Εικόνα 59: Παραγόμενη ενέργεια από τα παράθυρα της SolarWindow σε σχέση με άλλες εταιρείες

Στις 17 Μάιου 2017 η εταιρεία ανακοίνωσε την επιτυχή προσαρμογή της μεμβράνης της σε τζάμι, με σκοπό την κατασκευή ηλιακού παραθύρου. Η διαδικασία κατασκευής περιλαμβάνει υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις προκειμένου να κολλήσουν τα απαραίτητα, για λόγους ασφαλείας και αισθητικούς, στρώματα του γυαλιού. Μεταξύ των γυάλινων στρωμάτων, υπάρχει ένα ακόμα στρώμα, που διατηρεί τα γυαλιά στη θέση τους, ακόμα και σε περίπτωση θραύσης. Τα στρώματα της εταιρείας τοποθετούνται μέσα στο γυαλί κατά τη διαδικασία της κατασκευής και είναι ανθεκτικά όσον αφορά τις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, κατά το στάδιο της κατασκευής.

5.2 Η εταιρεία Brite Solar και τα διαφανή φωτοβολταϊκά πάνελ της

Τα διάφανα φωτοβολταϊκά πάνελ της εταιρίας Brite Solar μπορούν να μπουν σε κάθε παράθυρο, επηρεάζοντας ελάχιστα την ορατότητα. Ακόμα, επειδή μετατρέπουν το φως σε ενέργεια με μια ηλεκτροχημική διαδικασία, αντί της κλασσικής με τους ημιαγωγούς, παράγουν ενέργεια και από το εσωτερικό, τεχνητό φως. Και το καλύτερο; Καθώς τα υλικά που συνθέτουν τις φωτοευαίσθητες κυψέλες εναποτίθενται στο γυαλί μέσω εκτυπωτών ωεκασμού. τίποτα νзδ σας εμποδίζει να διακοσμήσετε τα τζάμια σας με την αγαπημένη σας εικόνα, η οποία θα ομορφαίνει το χώρο σας και θα γεμίζει τις μπαταρίες σας – κυριολεκτικά και μεταφορικά!

Το κλειδί της τεχνολογίας βρίσκεται στη χρήση ενός στερεού ηλεκτρολύτη, ο οποίος, σε αντίθεση με τους υγρούς ηλεκτρολύτες, παρέχει σταθερότητα και διάρκεια στο τελικό προϊόν, δηλαδή στο τζάμι. Συνδυάζοντας το στερεό ηλεκτρολύτη σε διαφανές γυαλί, το αποτέλεσμα είναι ένα ηλιακό πάνελ.



Εικόνα 60:Τομή μιας διάφανης ηλιακής κυψέλης



Εικόνα 61:Χρησιμοποιούνται τεχνολογίες νανοτεχνολογίας, προκειμένου να αναπτυχθούν ημιαγωγοί με μικρά σωματίδια, οι οποίοι να διατηρούν την διαφάνεια του τελικού προϊόντος

Η Brite Solar είναι μέχρι στιγμής η μόνη εταιρία που, ενσωματώνοντας μια σειρά από καινοτόμες τεχνολογίες, μπορεί να παράγει διαφανείς ηλιακές κυψελίδες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως παράθυρα, ενταγμένα στην αρχιτεκτονική των κτιρίων, διατηρώντας σταθερή απόδοση μεγάλης τάσης ή μεγάλου ρεύματος.

αναπτύξει τεχνολογία για Έχει тην κατασκευή φωτοηλεκτροχημικών στερεών ηλιακών κυψελών με τη χρήση οργανικών και μη οργανικών ελαφρών νανουλικών, τα οποίων παρασκευάζονται σε περισσότερα των συνθήκες περιβάλλοντος, χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις.

Η τεχνολογία της εταιρίας, θα βοηθήσει στην κατασκευή κτιρίων, τα οποία θα παράγουν μέρος της ενέργειας που καταναλώνουν, είτε αποδίδοντάς την στο εθνικό δίκτυο, είτε καταναλώνοντάς την άμεσα. Και οι εφαρμογές δεν σταματούν εδώ: σκεφτείτε τις ηλιοροφές των αυτοκινήτων, τα θερμοκήπια ή ακόμα και τα ηχοπετάσματα που τοποθετούνται στο πλάι πολύβουων δρόμων: καθώς το κόστος των πρωτοποριακών αυτών πάνελ είναι συγκρίσιμο με αυτό των κοινών υαλοπινάκων, οι εφαρμογές τους είναι άπειρες!



Εικόνα 62:Παράθυρα έτοιμα για χρήση (διακρίνονται τα καλώδια)

Ήδη, η εταιρία από την Πάτρα έχει κατοχυρώσει μια σειρά από πατέντες για την τεχνολογία της αυτή σε Ελλάδα, Ευρώπη και ΗΠΑ και μεγάλες εταιρίες παραγωγής γυαλιού έχουν εκδηλώσει ενδιαφέρον για να μπει η ιδέα σε μαζική παραγωγή. Σύμφωνα με τον Δρ. Π. Λιανό, επιστημονικό διευθυντή της Brite Solar, το προϊόν τους βρίσκεται ένα βήμα πριν τη διάθεσή του στο εμπόριο!

5.3 Η εταιρεία Polysolar μετατρέπει τα κοινά παράθυρα σε διαφανείς ηλιακούς συλλέκτες

H startup εταιρεία Polysolar που εδρεύει στο Cambridge, πάνελ οποία αναπτύσσει διαφανή тα μπορούν να κτήρια, θερμοκήπια και στέγαστρα. ενσωματωθούν σε Н επικεφαλής μηχανικός Joanna Slota-Newson σημειώνει: «Προσπαθούμε να καλύψουμε όσο το δυνατό μεγαλύτερη επιφάνεια κάθε κτηρίου με φωτοβολταϊκά»

Τα παραδοσιακά- συμβατικά φωτοβολταϊκά πάνελ, πρέπει να βλέπουν κατευθείαν τον ήλιο. Τα πάνελ της Polysolar μπορούν ακόμα και να χρησιμοποιηθούν σε τοίχους με βόρειο προσανατολισμό διότι έχουν την ιδιότητα να απορροφούν ακόμα και την χαμηλής στάθμης περιφερειακή ακτινοβολία.

Το τελευταίας τεχνολογίας γυαλί έχει ενσωματωμένο thin film φωτοβολταϊκό στο κέντρο κάθε πάνελ. Με κόστος £250 το τετραγωνικό μέτρο, το γκρι απόχρωσης πάνελ έχει απόδοση 12-15%, βελτιωμένο από το αντίστοιχο πορτοκαλί πάνελ της εταιρείας το οποίο είχε απόδοση 9% και κόστιζε £175 το τετραγωνικό μέτρο. Επιπρόσθετα ελέγχει την αντηλιά και αυξάνει την παραμένουσα θερμότητα στο εσωτερικό του κτιρίου, με αποτέλεσμα να μειώνεται η κατανάλωση ενέργειας για σκοπούς θέρμανσης και φωτισμού.



Εικόνα 63: Το πορτοκαλί πάνελ της εταιρείας το οποίο είχε απόδοση 9%



Εικόνα 64: Το γκρι απόχρωσης πάνελ έχει απόδοση 12-15%

Το επόμενο βήμα για την εταιρεία αποτελεί η παραγωγή ενός εντελώς διαφανούς, χωρίς απόχρωση πάνελ που θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα παράθυρα και στα χωρίσματα του κτιρίου. Η εταιρεία έχει δημιουργήσει ένα οργανικό φωτοβολταΐκό χωρίς απόχρωση, του οποίου η παραγωγή αναμένεται να ξεκινήσει σε δύο χρόνια. Με αυτό το πάνελ θα μεγαλώσει το φωτοβολταΐκό αποτύπωμα των κτιρίων και θα εξασφαλισθεί μεγαλύτερη ενεργειακή αυτονομία.

5.3.1 Αρχή Λειτουργίας

Όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα, φωτοβολταϊκά κύτταρα τεχνολογίας thin-film (πορτοκαλί) απλώνονται σαν στρώμα πάνω στο γυαλί (μπλε) και στη συνέχεια άλλο ένα στρώμα γυαλιού τοποθετείται από πάνω. Με αυτό τον τρόπο τα πάνελ γίνονται πολύ πιο αποδοτικά, ανεξαρτήτως γωνίας, σε σχέση με τα συμβατικά πάνελ και είναι ικανά να παράξουν ηλεκτρική ενέργεια και με πολύ χαμηλά επίπεδα ακτινοβολίας.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του πάνελ είναι τα ακόλουθα:

- Μπορεί να λειτουργήσει σε ένα μεγάλος εύρος γωνιών κάνοντας εφικτή την τοποθέτησή του ακόμα και σε κάθετες επιφάνειες του κτιρίου
- Λειτουργεί ακόμα και με 10% ηλιοφάνεια, επεκτείνοντας με αυτό τον τρόπο τον αριθμό των ωρών που είναι δυνατή η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη διάρκεια όλου του έτους. Επίσης το στρώμα Thin-film έχεις σαν αποτέλεσμα τα πάνελ να μην επηρεάζονται πολύ από τη σκίαση
- Τα πάνελ δεν επηρεάζονται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες και έτσι δεν απαιτείται εξαερισμός για μεγιστοποίηση της απόδοσης. Επίσης το στρώμα Thin-film λειτουργεί ικανοποιητικά σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών, μεγιστοποιώντας έτσι την συνολική απόδοση.
- Το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι σχεδόν ίδιο με τα αντίστοιχα συμβατικά προϊόντα αλλά η πολυλειτουργικότητα τελικά καθιστά τα πάνελ αυτά συμφερότερα οικονομικά.
- Η γυάλινη εξωτερική επένδυση μπορεί να είναι πολύ ισχυρή καθιστώντας τα πάνελ κατάλληλα για πολλές εφαρμογές

5.3.2 Εφαρμογές 5.3.2.1 Προσόψεις κτιρίων





Εικόνα 65: Thin-film σε προσόψεις κτιρίων

5.3.2.2 Θερμοκήπια





Εικόνα 66: Thin film σε θερμοκήπια

5.3.2.3 Υποστεγα αυτοκινήτων



Εικόνα 67:Thin film σε υπόστεγα

5.3.2.4 Οικιακές λύσεις



Εικόνα 68: Thin film σε στέγες σπιτιών

5.4 Τα προϊόντα της εταιρείας star8 (Παράθυρα Solar Glass)

Τα παράθυρα Solar Glass αποτελούν μια ιδανική λύση τόσο για οικίες όσο και για μεγάλα κτίρια κοινής ωφελείας, όπως ουρανοξύστες, αποθήκες, ξενοδοχεία κτλ. Μπορούν να τοποθετηθούν στη θέση των κοινών παραθύρων ή στις προσόψεις των κτιρίων ή ακόμα και σαν τοίχος-κουρτίνα. Τα παράθυρα αυτά είναι στιλβωμένα δις, έχουν μεγάλη αντοχή και είναι διαφανή. Διατίθενται σε μία πληθώρα χρωμάτων και σχεδίων και έχουν παρόμοιες ιδιότητες με τα κοινά παράθυρα. Για κάθε 10 τ.μ. γυαλιού, παράγεται 1kW. Το γυαλί αυτό έχει διάφορους βαθμούς διαφάνειας, από 5% μέχρι 30%.



Εικόνα 69: Το γυαλί της Star8 έχει διάφορους βαθμούς διαφάνειας, από 5% μέχρι 30%.

5.5 Η εταιρεία Onyx Solar προσφέρει γυαλιά με διαφάνεια 10%, 20% ή 30%

Η εταιρεία προσφέρει γυαλιά με διαφάνεια 10%, 20% ή 30% τα οποία προσφέρουν και προστασία από ακτινοβολία UV και υπέρυθρες ακτινοβολίες.

Η σύγχρονη αρχιτεκτονική επιδιώκει κτίρια με βιωσιμότητα, ενεργειακά αναβαθμισμένα και με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα πολύχρωμα φωτοβολταΐκά τζάμια της εταιρείας επιτρέπουν το σχεδιασμό κτιρίων επιτυγχάνοντας όλα τα παραπάνω και επιπρόσθετα με ένα πολύ καλό αισθητικό αποτέλεσμα. Η επιλογή στα χρώματα περιλαμβάνει: πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί, ανοικτό/σκούρο κόκκινο, ανοικτό/σκούρο μπλε, μωβ, λευκό και μαύρο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε φεγγίτες, τοίχους, μπαλκόνια, κτλ.



Εικόνα 70:Οι ιδιότητες των φωτοβολταικών τζαμιών Onyx Solar® είναι δυνατόν να παραμετροποιηθούν προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η απόδοσή τους σε διάφορες κλιματιλογικές συνθήκες.

Ο παράγοντας g του γυαλιού κυμαίνεται από 5% μέχρι 40%. Ο παράγοντας g μετράει το ποσοστό της θερμότητας που διαπερνάει το τζάμι. Όσο πιο χαμηλός είναι, τόσο πιο υψηλή είναι η προστασία από τη θερμότητα

Τα τζάμια κατασκευάζονται τόσο από άμορφο πυρίτιο (a-Si) όσο και από κρυσταλλικό πυρίτιο (c-Si) και οι ιδιότητές τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα

TECHNOLOGY	TRANSPARENCY	CONFIGURATION**	SHGC	U value**	U <mark>value</mark>	Ligth Reflection (external)
	(1)		%	₩lm²K	Btu/h ft ² F	%.
a-Si	DARK-CLEAR (0%)	3.2+4	22%	5,70	1,00	7,6%
		6T+3.2+6T* (see notes)	23%	5,20	0,92	7,3%
		6T+3.2+6T/12Air/6T **(also valid for 4+4, see notes)	6%	2,70	0,48	7,3%
		6T+3.2+6T/12Air/6T low-e	5%	1,60	0.28	7,3%
		6T+3.2+6T/12Argon/6T low-e	5%	1,20	0.21	7,3%
		6T+3.2+6T/12Argon/4/12Argon/6T low-e	5%	1,00	0,18	7,3%
	S-CLEAR (10%)	3.2+4	29%	5,70	1,00	7,6%
		6T+3.2+6T	29%	5,20	0,92	7,3%
		6T+3.2+6T/12Air/6T	11%	2,70	0,48	7,3%
		6T+3.2+6T/12Air/6T low-e	9%	1,60	0,28	7,3%
		6T+3.2+6T/12Argon/6T low-e	9%	1,20	0,21	7,3%
		6T+3.2+6T/12Argon/4/12Argon/6T low-e	9%	1,00	0,18	7,3%
	M-CLEAR (20%)	3.2+4	34%	5,70	1,00	7,6%
		6T+3.2+6T	32%	5,20	0,92	7,0%
		6T+3.2+6T/12Air/6T	14%	2,70	0,48	7,0%
		6T+3.2+6T/12Air/6T low-e	12%	1,60	0,28	7,0%
		6T+3.2+6T/12Argon/6T low-e	12%	1,20	0,21	7,0%
		6T+3.2+6T/12Argon/4/12Argon/6T low-e	12%	1,00	0,18	7,0%
	L-CLEAR (30%)	3.2+4	41%	5,70	1,00	7,6%
		6T+3.2+6T	37%	5,20	0.92	7,1%
		6T+3.2+6T/12Air/6T	19%	2,70	0,48	7,1%
		6T+3.2+6T/12Air/6T low-e	17%	1,60	0,28	7,1%
		6T+3.2+6T/12Argon/6T low-e	17%	1,20	0,21	7,1%
		6T+3.2+6T/12Argon/4/12Argon/6T low-e	17%	1,00	0,18	7,1%
c-Si	High density of PV cells (15%)	6T+6T* (see notes)	27%	5,50	0,97	8,3%
		6T+6T/12Air/6T	9%	2,70	0,48	8,3%
		6T+6T/12Air/6T low-e	7%	1,60	0,28	8,3%
		6T+6T/12Argon/6T low-e	7%	1,20	0,21	8,3%
		6T+6T/12Argon/4/12Argon/6T low-e	7%	1,00	0,18	8,3%
	Low density of PV cells (38%)	6T+6T	40%	5,50	0,97	8,3%
		6T+6T/12Air/6T	22%	2,70	0,48	8,3%
		6T+6T/12Air/6T low-e	20%	1,60	0,28	8,3%
		6T+6T/12Argon/6T low-e	20%	1,20	0,21	8,3%
		6T+6T/12Araon/4/12Araon/6T low-e	20%	1.00	0.18	8,3%

Πίνακας 3:ιδιότητες των τζαμιών της Onyx Solar

5.6 Η εταιρεία PHYSEE και το εντελώς διαφανές παράθυρο PowerWindow

To PowerWindow είναι ένα εντελώς διαφανές παράθυρο που μετατρέπει το φως σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιώντας ηλιακά κύτταρα στο κενό μεταξύ των δύο ή των τριών τζαμιών που απαρτίζουν το παράθυρο. Η όλη κατασκευή δεν αλλάζει τίποτα όσον αφορά τη λειτουργικότητα του παραθύρου.

Συνδυάζεται με τη διάταξη EESYbox και μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια στους χρήστες ή στο δίκτυο με το οποίο συνδέεται. Οι επιδόσεις του συστήματος μπορούν εύκολα να ελεγχθούν μέσω της εφαρμογής EESYapp.



Εικόνα 71: Το PowerWindow Συνδυάζεται με τη διάταξη ΕΕSYbox και μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια στους χρήστες ή στο δίκτυο με το οποίο συνδέεται

PowerWindow				
Power (1 M²)	8.4 Wp			
Open Circuit Voltage	14 V			
Short Circuit Current	0.7 A			
LT	>90%			
U value (W/m².K)	>1,2 / >0.6 (double / triple pane)			
SF	Any type of glass			
Dimensions & weight	Any type of window			
Type of Window	Double pane and triple pane			
Type of Glass	Any type			

Πίνακας 4:Ιδιότητες του παραθύρου της PHYSEE

5.7 Η εταιρεία Ubiquitous Energy και η τεχνολογία CLEARVIEW POWER[™] για παράθυρα

Η εταιρεία αυτή έχει αναπτύξει την τεχνολογία CLEARVIEW POWERTM για παράθυρα. Πρόκειται για έναν επανασχεδιασμό τους ηλιακού κυττάρου, ώστε αυτό να απορροφά μόνο τις υπέρυθρες και τις υπεριώδεις ακτινοβολίες, επιτρέποντας την ίδια στιγμή στο ορατό φώς να διέρχεται μέσα από αυτό. Έτσι το φως του περιβάλλοντος μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια από μία επιφάνεια της οποίας δεν επηρεάζεται η μορφή και η χρηστικότητά της. Τα δύο τρίτα από το διαθέσιμο φως για μετατροπή σε ενέργεια, βρίσκεται στις υπέρυθρες και στις υπεριώδεις ακτινοβολίες και αυτό συνεπαγεται σε απόδοση που ξεπερνάει το 10% επιτυγχάνοντας παράλληλα 90% ορατότητα.

5.7.1 Πιλοτική παραγωγή

Η εταιρεία έχει ξεκινήσει την πιλοτική παραγωγή του προϊόντος στη Silicon Valley, με πλήρη εξοπλισμό σχεδίασης, ανάπτυξης και ελέγχου. Χρησιμοποιούνται μη-τοξικά υλικά και πλήρως βιομηχανοποιημένες τεχνικές με διαδικασίες χαμηλών θερμοκρασιών που οδηγούν είτε σε άκαμπτες είτε σε εύκαμπτες επιφάνειες. Η εταιρεία προς το παρόν συνεργάζεται με εμπορικές εταιρείες προκειμένου να αναπτύξει τα προϊόντα της.

Τα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας αυτής είναι τα ακόλουθα

- Ορατότητα μέχρι 90%. Μόνο η υπεριώδης και η υπέρυθρη ακτινοβολία απορροφάται
- Αποδοτικότητα πάνω από 10% ανεξαρτήτως του ποσοστού της διαφάνειας
- Χαμηλό κόστος, μη τοξικά υλικά, βιομηχανικός εξοπλισμός
- Λεπτό και ελαφρύ, είναι λεπτότερο από 1/1000 του χιλιοστού
- Προσαρμόσιμη παντού αφού μπορεί να παράξει ενέργεια σε οποιαδήποτε επιφάνεια χωρίς αισθητική αλλαγή



Εικόνα 72: Ηλιακό κύτταρο που απορροφά μόνο τις υπέρυθρες και τις υπεριώδεις ακτινοβολίες, επιτρέποντας την ίδια στιγμή στο ορατό φώς να διέρχεται μέσα από αυτό

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η ερευνητική προσπάθεια που πραγματοποιείται πάνω σε νέα υλικά και νέες τεχνολογίες για φωτοβολταϊκά πλαίσια σε παγκόσμιο επίπεδο, είναι πραγματικά αξιοσημείωτη. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναφερθήκαμε στις τεχνολογίες των διαφανών ΦΒ στοιχείων και των οργανικών ΦΒ στοιχείων.

Τα πλεονεκτήματα των διαφανών ηλεκτρικών στοιχείων είναι κυρίως το χαμηλό κόστος στην διάρκεια της κατασκευής, με λιγότερο από 1 έτος για την ενεργειακή αποπληρωμή. Είναι μη τοξικά, τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι άφθονα στη φύση και αποδίδουν καλά σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού, όπως η υψηλή γωνία πρόσπτωσης, η χαμηλή ένταση και η μερική σκίαση. Είναι (ή δύναται να είναι) ελαφριά και ευέλικτα. Οι κύριες βελτιώσεις που επιδέχονται είναι η βελτίωση της απόδοσης μετατροπής, της σταθερότητας και της αξιοπιστίας.

Ένα οργανικό ηλιακό στοιχείο αποτελείται από πολυμερή. Το αρχικό οργανικό ηλιακό στοιχείο αποτελείται από δύο στρώματα: ένα δότη ηλεκτρονίων και ένα αποδέκτη ηλεκτρονίων. Όταν ένα φωτόνιο απορροφάται, δημιουργεί ένα δεσμευμένο ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής (ονομάζεται επίσης εξιτόνιο), κυρίως στο υλικό του δότη. Μπορεί να διαχωριστεί όταν το εξιτόνιο διαχέεται στη διεπαφή δότη-δέκτη.Το υλικό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή των οργανικών ηλιακών στοιχείων αποτελείται από πολυμερή ή, με απλά λόγια, πλαστικό. Το πλαστικό που χρησιμοποιείται έχει χαμηλό κόστος παραγωγής σε μεγάλες ποσότητες, το οποίο αντιπροσωπεύει το κύριο πλεονέκτημα των οργανικών ηλιακών στοιχείων. Επιπλέον, ο συντελεστής οπτικής απορρόφησης των οργανικών μορίων είναι υψηλός, κι έτσι μία μεγάλη ποσότητα του φωτός μπορεί να απορροφηθεί με μικρή ποσότητα υλικών. Τα κύρια μειονεκτήματα είναι χαμηλή αποδοτικότητα, n χαμηλή σταθερότητα και χαμηλή αντοχή σε σύγκριση με ανόργανα φωτοβολταϊκά στοιχεία.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

http://neo.britesolar.com/technology/brite-solar-glass/

http://www.britesolar.com/technology/our-technology/

http://www.kainotomeis.gr/article.aspx?id=1028

http://www.polysolar.co.uk/BIPV-Solutions/building-integratedphotovoltaics-bipv

http://www.physee.eu/products/

http://www.powerelectronics.com/solar/solar-system-efficiencymaximum-power-point-tracking-key

http://ubiquitous.energy/technology/

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S13640321183 04672#s0040

http://www.ecosales.gr/viokef-marcella-indoor-lights-pendantcandellier-3ply-amber-satin-glass-gold-finishing-brass-oxidizedfittings-110-3094400.html

https://en.wikipedia.org/wiki/Low-iron_glass

https://el.wikipedia.org/wiki/Πυρανόμετρο

http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S03605442090 02990

http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S03605442090 02990?via%3Dihub http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S09601481070 02200

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S09601481040 02216

https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S03062619080 02031

http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S09601481070 02200

http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S09270248070 0205X

http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/nn901587x

http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S03062619080 02031

<u>http://chpolyz.blogspot.com/search/label/OPVs%20%28Οργανικ</u> ά%20Φωτοβολταϊκά%29

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