

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ

ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Αριθμός 1121

ΘΕΜΑ: < Φωτοβολταϊκά Πλαίσια - Αρχή λειτουργίας, κατασκευή και εφαρμογές
στην Ελληνική Αγορά>

<Photovoltaic Panels - Basics of their operation, construction and applications
in Greek Market>



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ(ΕΣ):

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: Δρ ΗΛΙΑΣ ΣΤΑΘΑΤΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ(ΕΣ):

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΛΑΜΠΡΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΚΑΡΑΒΙΑΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ: ΔΕΔΕΣ ΒΑΣΙΛΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2011

Πρόλογος

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται μια προσπάθεια μελέτης και κατανόησης των σταδίων δημιουργίας ενός Φωτοβολταϊκού πάνελ πολυκρυσταλλικού πυριτίου ξεκινώντας από την πρώτη ύλη, το πυρίτιο, και καταλήγοντας το τελικό προϊόν περνώντας από τρία βασικά στάδια-γραμμές παραγωγής οι οποίες θα αναπτυχθούν με τη σειρά ξεχωριστά και αναλυτικά καθώς και θεωρητικά στοιχεία της διαδικασίας παραγωγής, και στάδια ποιοτικού ελέγχου ενδιάμεσα ή στο τέλος κάθε γραμμής. Οι τρεις αυτές γραμμές παραγωγής είναι η γραμμή παραγωγής των δίσκων πυριτίου (WAFER LINE) όπου αφορά την κρυσταλοποίηση του πυριτίου και τη μηχανική του επεξεργασία ώστε να πάρει το wafer την επιθυμητή μορφή (σχήμα και μέγεθος), η γραμμή παραγωγής των ηλιακών κυψελίδων (CELL LINE), όπου με κατάλληλες χημικές μεθόδους διαμορφώνεται η επιφάνεια των wafers, αποκτούν κατάλληλο χρώμα, αντανακλαστικό επίστρωμα και κύκλωμα συλλογής του ρεύματος ώστε να πάρουμε τη στοιχειώδη δομική μονάδα ικανή να παράγει ρεύμα και ισχύ και τέλος η γραμμή παραγωγής των φωτοβολταϊκών πλαισίων (MODULE LINE) (γραμμή συναρμολόγησης), όπου συνδυάζονται πολλές κυψελίδες σε ένα ενιαίο κύκλωμα με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργηθεί πάνελ που θα παρέχει περισσότερη ισχύ, τάση ή και ρεύμα σε σχέση με ένα cell. Στη συνέχεια αναφέρονται μερικές σημαντικές εφαρμογές των φωτοβολταϊκών πλαισίων στην ελληνική αγορά και συνοψίζονται μερικές βασικές αρχές για τη μελέτη και την εγκατάστασή τους.

Αναλυτικά στην **ΕΙΣΑΓΩΓΗ** γίνεται μια σύντομη αναφορά στις ήπιες μορφές ενέργειας που έχει προσπαθήσει μέχρι τώρα να εκμεταλλευτεί ο άνθρωπος με ποικίλους τρόπους. Γίνεται μια μικρή αναφορά στα είδη των ήπιων μορφών ενέργειας καθώς επίσης και στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτών.

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1** γίνεται μια αναφορά στην αναγκαιότητα εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων παρουσιάζοντας παράλληλα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτών ,καθώς επίσης και τις πρώτες φωτοβολταϊκές εφαρμογές.

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2** αναφέρεται η θεωρητική λειτουργία των φωτοβολταϊκών γεννητριών ξεκινώντας από το επίπεδο της ηλεκτρονικής τους δομής και βασιζόμενοι στη θεωρία των διόδων και των ημιαγωγών εξηγείται η λειτουργία τους.

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3** περιγράφεται συνοπτικά ο τρόπος δημιουργίας ηλεκτρικού ρεύματος από το φως του Ήλιου μέσω των φωτοβολταϊκών στοιχείων. Επεξηγείτε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο που λαμβάνει χώρα ,αναλύονται τα βασικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών και γίνεται μια αναφορά στις απώλειες τους. Τέλος αναφέρονται οι περισσότερες τεχνολογίες κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4** περιγράφεται η μηχανική επεξεργασία της πρώτης ς ύλης του πυριτίου σε wafers και όλα τα στάδια παραγωγής. Τέλος παρουσιάζεται η λειτουργία των μηχανημάτων που συντελούν σ'αυτή τη παραγωγική διαδικασία.

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5** περιγράφεται η χημική επεξεργασία του wafer σε cell κάνοντας το ικανό να μετατρέπει άμεσα το ηλιακό φως σε ηλεκτρικό ρεύμα. Επίσης αναφέρονται όλα τα στάδια της παραγωγικής διαδικασίας της γραμμής καθώς επίσης και η λειτουργία των μηχανημάτων που συντελούν στην όλη διαδικασία.

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6** αναλύεται η γραμμή συναρμολόγησης ενός πάνελ καθώς και τα υλικά τα οποία αποτελούν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο αλλά και οι έλεγχοι ποιότητας προκειμένου να διαπιστωθεί ότι το πλαίσιο κατασκευάζεται σύμφωνα με τα standard που έχουν τεθεί.

Στο **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7** γίνεται μια αναφορά στις εφαρμογές που βρίσκουν τα φωτοβολταϊκά πάνελ στην ελληνική αγορά, ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται και οι ενέργειες που απαιτούνται ώστε να γίνει μια εγκατάσταση.

Τέλος καταγράφεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να ευχαριστήσουμε τον Δρ.Ηλία Σταθάτο για την απεριόριστη και πολύτιμη συμπαράστασή του κατά την εκπόνηση αυτής, την καθοριστική συμβολή του σε κρίσιμα σημεία, την πολύτιμη βοήθεια και την καθοδήγησή του σαν καθηγητής αλλά και άνθρωπος, δίνοντάς μας την ευκαιρία να ασχοληθούμε με ένα θέμα που πραγματικά μας ενδιέφερε.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στην SOLTECH S.A. και ιδιαίτερα στον κ.Παναγάκο Λεωνίδα για όλες τις πληροφορίες που μας δόθηκαν έτσι ώστε να επιτευχτεί η εργασία αυτή καθώς και η δυνατότητα να παρακολουθήσουμε από κοντά ολόκληρη την παραγωγική διαδικασία.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε την ηλεκτρολόγο μηχανικό και μηχανικό παραγωγής της SOLTECH S.A. κα.Βραχνή Αλεξάνδρα για την βοήθεια της σε απορίες που μας δημιουργήθηκαν κατά την διάρκεια δημιουργίας αυτής της εργασίας.

Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους όσους στάθηκαν δίπλα μας όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Περιεχόμενα

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	7
- Εισαγωγικά στοιχεία	7
- Γενικά	8
- Είδη ήπιων μορφών ενέργειας	9
- Πλεονεκτήματα –μειονεκτήματα ΑΠΕ	10
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	11
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ	11
1.1 Εισαγωγή	12
1.2 Φωτοβολταϊκή τεχνολογία	13
1.3 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα φωτοβολταϊκών	14
1.4 Οι πρώτες φωτοβολταϊκές εφαρμογές	15
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	18
ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ-ΔΙΟΔΟΣ P-N	18
2.1 Εισαγωγή	19
2.2 Ενεργειακή διέγερση ημιαγωγών	19
2.3 Ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές	20
2.4 Ενεργειακές ζώνες	22
2.5 Ημιαγωγοί προσμίξεων	23
2.6 Φορείς πλειονότητας-φορείς μειονότητας	25
2.7 Ένωση p-n και δίοδος ημιαγωγών	27
2.8 Ορθή και ανάστροφη πόλωση διόδου	28
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	30
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ	30
3.1 Εισαγωγή	32
3.2 Φωτοβολταϊκό φαινόμενο	32
3.3 Συντελεστής απορρόφησης	33
3.4 Δημιουργία φωτορεύματος	35
3.5 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά φωτοβολταϊκών	37
3.6 Φωτοβολταϊκά στοιχεία	39
3.7 Φωτοβολταϊκή γεννήτρια	43

3.7.1 Απόδοση φωτοβολταϊκού πλαισίου	44
3.7.2 Επίδραση της θερμοκρασίας και της ρύπανσης	45
3.7.3 Η ισχύς αιχμής του φωτοβολταϊκού στοιχείου	45
3.8 Φωτοβολταϊκά πανέλα και συστοιχίες	46
3.9 Απώλειες στα φωτοβολταϊκά συστήματα	47
5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	48
WAFER LINE	48
4.1 Εισαγωγή	49
4.2 στάδια γραμμής Παραγωγής	49
4.3 λειτουργία μηχανημάτων	51
6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	63
CELL LINE	63
5.1 Εισαγωγή	64
5.2 Στάδια γραμμής Παραγωγής	64
5.3 Λειτουργία Μηχανημάτων	65
7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	77
MODULE LINE	77
6.1 Εισαγωγή	78
6.2 Υλικά που αποτελείται ένα Module	79
6.2.1 Ανάλυση των Υλικών	79
6.3 Στάδια γραμμής Παραγωγής	80
6.4 Βοηθητικοί Σταθμοί	100
8. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	105
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ Φ/Β ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ	105
7.1 Εισαγωγή	106
7.2 Κατηγορίες Φ/Β Συστημάτων	108
7.2.1 Διασυνδεδεμένα Φ/Β Συστήματα	108
7.2.2 Αυτόνομα Φ/Β Συστήματα	111
7.2.3 Υβριδικά Φ/Β Συστήματα	113
7.3 Εφαρμογές Φ/Β στην ελληνική Αγορά	114
7.3.1 Εφαρμογές Φ/Β σε Στέγες	114
7.3.2 Εφαρμογές Φ/Β σε Πάρκα	115
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	118

ΠΡΟΛΟΓΟΣ



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΕΙΔΗ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ (ΑΠΕ)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ανακινήθηκε το 1970 ,ως αποτέλεσμα κυρίως των απανωτων πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από την χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για την περαιτέρω αξιοποίηση τους. Το κόστος δε των εφαρμογών των ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και η υδροηλεκτρική ενέργεια , αλλά και η βιομάζα μπορούν να ανταγωνίζονται συνέχεια παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας η ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος γεωθερμία κυκλοφορία του νερού και άλλες Όρος <ήπιες> αναφέρεται σε δυο βασικά τους χαρακτηριστικά τους .Καταρχάς ,για την εκμετάλλευση τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, η καύση, όπως με τις μέχρι_ τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά όπως η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερον, πρόκειται για καθαρές μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα η τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειες που χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερη κλίμακα. Έτσι οι ΑΠΕ θεωρούνται από πολλούς η αφετηρία για την επίλυση οικολογικών προβλημάτων που αντιμετωπίζει η Γη.

Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου η του άνθρακα) , όπως η ηλιακή και η αιολική. Ο χαρακτηρισμός <<ανανεώσιμες>> είναι κάπως καταχρηστικός μιας και ορισμένες από αυτές τις πηγές όπως η γεωθερμική ενέργεια δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της μη αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων)

αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων. Έτσι για το λόγο αυτό πολλά κράτη σήμερα υιοθετούν νέες πολιτικές για την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας προωθώντας έτσι την οικονομική ανάπτυξη της πράσινης ενέργειας.

ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται κατ' ουσίαν στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης και την ενέργεια από τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται την βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος. Ουσιαστικά είναι η ηλιακή ενέργεια "συσκευασμένη" κατά τον ένα ή άλλο τρόπο. Η **βιομάζα** είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η **αιολική** εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται από τη θέρμανση του αέρα, ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Η **γεωθερμική** ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη, καθώς τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρέπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό και μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας. Η υψηλή όμως μέχρι πρόσφατα τιμή των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά προβλήματα εφαρμογής, καθώς και πολιτικές και οικονομικές σκοπιμότητες που έχουν να κάνουν με την διατήρηση του παρόντος στάτους quo στον ενεργειακό τομέα εμπόδισαν την εκμετάλλευση έστω και μέρος αυτού του δυναμικού. Ειδικά στην Ελλάδα, που έχει μορφολογία και κλίμα κατάλληλο για τις νέες ενεργειακές εφαρμογές, η εκμετάλλευση αυτού του ενεργειακού δυναμικού θα βοηθούσε σημαντικά στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας.

ΕΙΔΗ ΗΠΙΩΝ ΜΟΡΦΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

- Αιολική ενέργεια. Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για τις μηχανικές εφαρμογές (πχ την άλεση στους ανεμόμυλους) . Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται πλατιά για ηλεκτροπαραγωγή
- Ηλιακή ενέργεια. Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακή θερμοσίφωνες) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος , με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την ευρωπαϊκή ένωση.
- Υδατοπτώσεις. Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά έργα , που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας ειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.
- Βιομάζα. Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε απ'το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Μπορεί να δώσει βιοαιθανολη και βιοαέριο που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον.
- Γεωθερμική ενέργεια. Προέρχεται από την θερμότητα που παράγεται απ'τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμετάλλευση εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια.(πχ στις πηγές ζεστού νερού).Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού.
- Ενέργεια από παλίρροιες. Εκμεταλλεύεται την βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης , που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα παράγοντας ηλεκτρισμό.
- Ενέργεια από κύματα. Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.
- Ενέργεια από τους ωκεανούς. Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. Βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ (ΑΠΕ)

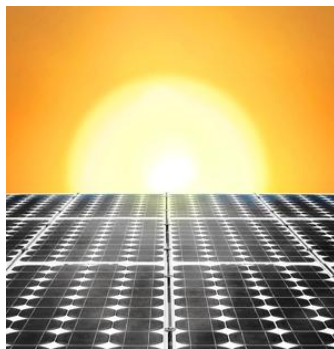
∅ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Û Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον , έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- Û Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα
- Û Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών , καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- Û Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού , καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας αλλά και μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- Û Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και την συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- Û Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

∅ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Û Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης της τάξης του 30% και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Û Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Û Η παροχή και απόδοση της αιολικής , υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίσταται.
- Û Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη και προκαλούν θόρυβο.
- Û Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό και έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1



1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

1.4 ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενέργεια που εκπέμπεται από τον Ήλιο και φτάνει ως την Γη με την μορφή της ηλιακής ακτινοβολίας, είναι η κύρια πηγή ενέργειας γι' αυτήν, αφού συντελεί στην διατήρηση της θερμοκρασίας της, τροφοδοτεί τις άλλες πηγές ενέργειας και δίνει μέσω της φωτοσύνθεσης, ζωή στα φυτά και συνακόλουθα στα ζώα. Η ηλιακή ακτινοβολία όμως γίνεται και άμεσα αντιληπτή ως θερμότητα. Έτσι ο άνθρωπος από παλιά τη χρησιμοποίησε για να καλύψει κάποιες θερμικές ενεργειακές του ανάγκες. Μέχρι πριν μερικούς αιώνες, άλλωστε οι θερμικές ήταν και οι σημαντικότερες χρήσεις της ενέργειας γενικότερα.

Στη σύγχρονη εποχή όμως οι ενεργειακές εφαρμογές έχουν αυξηθεί δραματικά και παράλληλα έχουν αποκτήσει μεγάλη ποικιλία με αποτέλεσμα η ποιότητα ζωής των ανθρώπων να εξαρτάται πλέον από το επίπεδο εξασφάλισης των ενεργειακών τους αναγκών και, κυρίως από αυτό της ηλεκτρικής ενέργειας. Από την άλλη τα μεγάλα προβλήματα που έχουν δημιουργηθεί στο περιβάλλον με κυριότερο από αυτά το φαινόμενο του θερμοκηπίου και την μείωση του όζοντος στην ατμόσφαιρα έχουν γίνει πλέον γνωστά και κατανοητά σε όλους.

Καθώς για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες συμβατικών καυσίμων, όπως είναι το πετρέλαιο και ο λιγνίτης, αυτή ευθύνεται κατά μεγάλο μέρος για τα προαναφερθέντα περιβαλλοντικά προβλήματα. Εάν μάλιστα λυθεί υπόψη ότι τα διαθέσιμα αποθέματα συμβατικών καυσίμων έχουν μειωθεί αισθητά τα τελευταία χρόνια προκύπτει ότι το ενεργειακό προβάλλει ως ζοφερότερο σύγχρονο πρόβλημα του πλανήτη το οποίο μάλιστα χρήζει άμεσης επίλυσης.

Προς την κατεύθυνση αυτή ευοίωνες είναι οι προοπτικές που ανοίγονται από την ανάπτυξη των τεχνολογιών εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Πράγματι καθημερινά προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης μια τεράστια ποσότητα ηλιακής ενέργειας, η οποία αν και αποτελεί ένα μικρό μόλις κλάσμα της ολικής ενέργειας που παράγεται από τον Ήλιο, εντούτοις είναι 20.000 φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια που καταναλώνεται σήμερα σε ολόκληρο τον κόσμο με οποιαδήποτε μορφή.

1.2 Η ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Το ενδιαφέρον για την ηλιακή ενέργεια εντάθηκε χάρη στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο, διαπιστώθηκε η πρακτική δυνατότητα της εύκολης, άμεσης και αποδοτικής μετατροπής της σε ηλεκτρική ενέργεια με την βοήθεια φωτοβολταϊκών γεννητριών. Πράγματι η φωτοβολταϊκή μέθοδος μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια έχει μόνον πλεονεκτήματα αν εξαιρεθούν κυρίως το κόστος, που είναι αρκετά υψηλό για τις περισσότερες εφαρμογές και η αδυναμία της φωτοβολταϊκής γεννήτριας να παράγει συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια λόγω διακυμάνσεων της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας κατά την διάρκεια του 24ωρου.

Ανάλογα με τον βαθμό πολυπλοκότητας στην κατασκευή και τη λειτουργία, μπορούμε να κατατάξουμε τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες σε 3 κυρίως κατηγορίες.

1. Τις απλές διατάξεις όπου τα ηλιακά στοιχεία είναι τοποθετημένα σε σταθερά επίπεδα πλαίσια που περιστρέφονται και δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία με τη φυσική της πυκνότητα και διακύμανση στη διάρκεια της μέρας.
2. Τις διατάξεις με κινητά πλαίσια που περιστρέφονται αυτόματα και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του Ήλιου στον ουρανό ώστε τα ηλιακά στοιχεία να δέχονται κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία σε όλη τη διάρκεια της μέρας. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει ένα ηλιακό στοιχείο μέχρι 50% περίπου αφού δέχεται πυκνότερη ακτινοβολία ανά μονάδα εμβαδού της επιφάνειας του.
3. Τις διατάξεις που με τη χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και την στέλνουν πολύ συμπυκνωμένη πάνω στα ηλιακά στοιχεία. Για την αποφυγή θέρμανσης στις συγκεντρωτικές διατάξεις απαιτείται συνήθως η τεχνητή ψύξη των ηλιακών στοιχείων με κυκλοφορία ψυχρού αέρα ή ψυκτικών υγρών.

1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ-ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Φ/Β

Όταν τα φωτοβολταϊκά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία , μετατρέπουν ένα 5-17% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική .Το πόσο ακριβώς είναι το ποσοστό εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε. Υπάρχουν πχ τα λεγόμενα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά, τα πολυκρυσταλλικά και τα άμορφα φωτοβολταϊκά. Τα τελευταία έχουν χαμηλότερη απόδοση είναι όμως σημαντικά φτηνότερα. Έτσι η επιλογή του είδους των φωτοβολταϊκών είναι συνάρτηση των αναγκών , του διαθέσιμου χώρου και τις οικονομικής ευχέρειας. Όλα τα φωτοβολταϊκά όμως μοιράζονται τα παρακάτω πλεονεκτήματα

- Ανανεώσιμη και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή
- Ικανοποιητική απόδοση μετατροπής
- Σχετικά εύκολη μέθοδο κατασκευής ηλιακών στοιχείων από τις πρώτες ύλες που αφθονούν
- Πρακτικά απεριόριστη διάρκεια ζωής των ηλιακών στοιχείων(τουλάχιστον 20-30 χρόνια)
- Τα ηλιακά στοιχεία δεν έχουν κινούμενα μέρη, επομένως είναι σχεδόν απαλλαγμένα από την ανάγκη επίβλεψης και συντήρησης. Αλλά και σε περίπτωση βλάβης η αποκατάσταση της λειτουργίας γίνεται εύκολα λόγω της σπονδυλωτής μορφής της φωτοβολταϊκής διάταξης.
- Η φωτοβολταϊκή μετατροπή δεν προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον, ούτε θόρυβο η άλλη ενόχληση και δεν δημιουργεί απόβλητα η άχρηστα παραπροϊόντα.
- Δίνει τη δυνατότητα ανεξαρτησίας από κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής.
- Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί μπορούν να λειτουργούν με όσο μικρή ισχύ ζητηθεί.
- Η αναλογία της παραγόμενης ισχύος προς το βάρος της διάταξης είναι αρκετά μεγάλη, περίπου 100 W/kg.

Παρόλα αυτά υπάρχουν και μειονεκτήματα στα φωτοβολταϊκά που αν βρεθούν λύσεις θα είναι ακόμα πιο προσιτά σε όλους. Τα εξής μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα φωτοβολταϊκά είναι

- Το υψηλό κόστος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων
- Για τις περισσότερες εφαρμογές απαιτείται η δαπανηρή αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της αστάθειας και της μεγάλης διακύμανσης της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας
- Απαιτείται η χρησιμοποίηση μεγάλων σχετικά επιφανειών , λόγω της μικρής πυκνότητας της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.

1.4. ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Τα κύρια συστατικά των φωτοβολταϊκών γεννητριών και η καρδιά κάθε φωτοβολταϊκού συστήματος μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική ενέργεια είναι τα φωτοβολταϊκά ηλιακά στοιχεία(ονομάζονται επίσης φωτοστοιχεία ή ηλιακά κύτταρα ή κυψελίδες), δηλαδή δίοδοι ημιαγωγών σε μορφή δισκίου, που καθώς δέχονται στην επιφάνεια τους την ηλιακή ακτινοβολία εκδηλώνουν μια *διαφορά δυναμικού* ανάμεσα στην εμπρός και την πίσω όψη τους.

Η φωτοβολταϊκή μετατροπή είναι μια πολύ πρόσφατη τεχνολογική ανακάλυψη που βρίσκεται ακόμα στο στάδιο της ανάπτυξης της. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο είναι γνωστό από τον περασμένο αιώνα , ήδη από το 1981 που είχε αρχίσει να γίνεται αισθητή η μόλυνση του περιβάλλοντος στις βιομηχανικές πόλεις ο R. APPLEBYARD έγραφε *<ο ήλιος δεν θα σκορπίζει άσκοπα την ενέργεια του στο διάστημα αλλά με την χρησιμοποίηση φωτοβολταϊκών στοιχείων η ενέργεια αυτή θα συγκεντρώνεται σε ηλεκτρικές αποθήκες καταργώντας έτσι τις ατμομηχανές και απαλλάσσοντας την ατμόσφαιρα από το καπνό>*. Εκείνη την εποχή το κυριότερο καύσιμο ήταν το κάρβουνο αφού δεν είχε αρχίσει ακόμα η μαζική χρήση του πετρελαίου.

Η μεγάλη ώθηση προς τις πρακτικές εφαρμογές της φωτοβολταϊκής μετατροπής δόθηκε με την πραγματοποίηση ορισμένων κρίσιμων τεχνολογικών προόδων όπως

η παρασκευή καθαρού πυριτίου και ο σχηματισμός διόδων πυριτίου που οδήγησαν τελικά στην κατασκευή ηλιακών στοιχείων σημαντικής απόδοσης (6%) το 1954 και ακόμα μεγαλύτερης το 1972 (14%). Με τη πάροδο του χρόνου όμως ο βαθμός απόδοσης ολοένα και αυξάνεται αύξηση της απόδοσης έστω και κατά μια ποσοστιαία μονάδα θεωρείται επίτευγμα στη τεχνολογία των φωτοβολταϊκών. Στη σημερινή εποχή ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου

βρίσκεται στο (15-17%) ο οποίος συγκρινόμενος με την απόδοση άλλου συστήματος παραμένει ακόμα αρκετά χαμηλός. Αυτό σημαίνει ότι το φωτοβολταϊκό σύστημα καταλαμβάνει μεγάλη επιφάνεια προκειμένου να αποδώσει την επιθυμητή ηλεκτρική ισχύ. Ωστόσο η απόδοση ενός δεδομένου συστήματος μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με την τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών σε ηλιοστάτη.

1839	Παρατήρηση του φωτοβολταϊκού φαινομένου σε μεταλλικά στοιχεία βυθισμένα σε ηλεκτρολύτες
1937	Κατασκευή ηλιακού φωτοβολταϊκού στοιχείου από PbS (fiscer and Godden)
1939	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από Se με απόδοση 1% (olh)
1941	Κατασκευή πρώτου ηλιακού στοιχείου από Si (olh)
1952	Ανακάλυψη της τηγμένης ζώνης για την κατασκευή στερεών μεγάλης καθαρότητας (Pfann)
1953	Ανακάλυψη της μεθόδου σχηματισμού ενώσεων p-n με διάχυση προσμίξεων
1954	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου Si με σχηματισμό p-n με διάχυση προσμίξεων και με απόδοση 6%
1956	Εμπορική παραγωγή ηλιακών στοιχείων
1958	Εκτόξευση του αμερικανικού τεχνικού δορυφόρου vanguard 1 εξοπλισμένου με έξι μικρά στοιχεία si ισχύος 5 mW ως βοηθητική ενεργειακή πηγή
1958	Εκτόξευση σοβιετικού τεχνικού δορυφόρου με αποκλειστική τροφοδότηση από ηλιακά στοιχεία
1959	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από Cds με απόδοση 5%

1972	Κατασκευή του πρώτου ηλιακού στοιχείου Si με απόδοση 14%
1976	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από άμορφο Si με απόδοση 0.01%
1977	Κατασκευή ηλιακού στοιχείου από GaAs με απόδοση 16%
1981	Πτήση πάνω από τη Μάγχη του αεροπλάνου Solar Challenger εξοπλισμένο με 16128 ηλιακά στοιχεία Si ισχύος 2.7kW
1983	Έναρξη εμπορικής λειτουργίας του φωτοβολταϊκού σταθμού της Βικτροβιλ ισχύος 1 MW
1984	Εέναρξη βιομηχανικής παραγωγής ηλιακών στοιχείων στην Ιαπωνία από άμορφο πυρίτιο με απόδοση 5%

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1 ΟΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗΣ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2



2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ

2.3 ΕΛΕΥΘΕΡΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ ΚΑΙ ΟΠΕΣ

2.4 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΖΩΝΕΣ

2.5 ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΠΡΟΣΜΙΞΕΩΝ

2.6 ΦΟΡΕΙΣ ΠΛΕΙΟΝΟΤΗΤΑΣ-ΜΕΙΟΝΟΤΗΤΑΣ

2.7 ΕΝΩΣΗ P-N & ΔΙΟΔΟΣ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ

2.8 ΟΡΘΗ ΚΑΙ ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ ΠΟΛΩΣΗ ΔΙΟΔΟΥ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

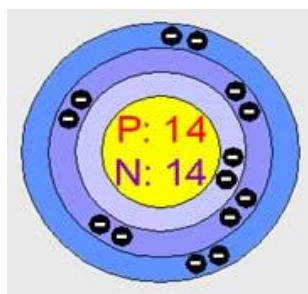
Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο και η λειτουργία του φωτοβολταϊκού συστήματος στηρίζεται στις βασικές ιδιότητες των ημιαγωγών υλικών σε ατομικό επίπεδο. Όταν το φως προσπίπτει σε μια επιφάνεια είτε αντανακλάται είτε την διαπερνά είτε απορροφάται από το υλικό της επιφάνειας. Η απορρόφηση του φωτός ουσιαστικά σημαίνει την μετατροπή του σε μια άλλη μορφή ενέργειας σύμφωνα με την (αρχή διατήρησης ενέργειας) η οποία συνήθως είναι θερμότητα.

Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν υλικά τα οποία έχουν την ιδιότητα να μετατρέπουν την ενέργεια των προσπιπτόντων φωτονίων σε ηλεκτρική ενέργεια , αυτά τα υλικά είναι οι ημιαγωγοί και σε αυτά οφείλεται επίσης η τεράστια τεχνολογική πρόοδος που έχει συντελεστεί στον τομέα της ηλεκτρονικής και συνεπακόλουθα στον ευρύτερο χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών.

Γενικότερα τα υλικά στην φύση σε σχέση με τα ηλεκτρικά τους χαρακτηριστικά τους εμπίπτουν σε τρεις κατηγορίες, τους αγωγούς , τους μονωτές, και τους ημιαγωγούς. Ένας ημιαγωγός έχει την ιδιότητα να μπορεί να ελέγχει η ηλεκτρική του αγωγιμότητα είτε μόνιμα είτε δυναμικά.

2.2 Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΤΩΝ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ

Τα Φωτοβολταϊκά στοιχεία κατασκευάζονται από ημιαγωγούς με ενδιάμεση ηλεκτρική αγωγιμότητα ανάμεσα στους αγωγούς και τους μονωτές. Οι κυριότεροι ημιαγωγοί είναι τετρασθενή στοιχεία όπως το πυρίτιο και το γερμάνιο ή χημικές ενώσεις όπως το γερμανιούχο γάλλιο και θειούχο κάδμιο. Το χαρακτηριστικό στοιχείο ενός ημιαγωγού που το διαφοροποιεί από τα υπόλοιπα υλικά είναι ο αριθμός των ηλεκτρονίων ενός ατόμου που βρίσκεται στην εξωτερική στοιβάδα (σθένους). Ο περισσότερος γνωστός ημιαγωγός είναι το πυρίτιο (Si).



Εικόνα 2.1 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑΚΗ ΔΟΜΗ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Το πυρίτιο έχει ατομικό αριθμό 14 και έχει στην εξωτερική του στοιβάδα 4 ηλεκτρόνια. Όλα τα άτομα που έχουν λιγότερα ή περισσότερα ηλεκτρόνια στην εξωτερική στοιβάδα (είναι γενικά συμπληρωμένη με 8e) ψάχνουν άλλα άτομα με τα οποία μπορούν να ανταλλάξουν ηλεκτρόνια ή να μοιράσουν κάποια με σκοπό τελικά να αποκτήσουν συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα σθένους.

Σε αυτήν την τάση οφείλεται και η κρυσταλλική δομή του πυριτίου αφού όταν συνυπάρχουν πολλά άτομα μαζί διατάσσονται με τέτοιο τρόπο ώστε να αποκτούν μια συμπληρωμένη εξωτερική στοιβάδα και κρυσταλλική δομή. Αυτή είναι και η καθοριστική ιδιότητα που έχουν τα κρυσταλλικά υλικά. Στην κρυσταλλική του μορφή όμως το πυρίτιο είναι σταθερό ,δεν έχει ανάγκη ούτε να προσθέσει ούτε να διώξει ηλεκτρόνια κάτι που ουσιαστικά του δίνει ηλεκτρικά χαρακτηριστικά πολύ κοντά σε αυτά ενός μονωτή αφού δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια για την δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος στο εσωτερικό του.

2.3 ΕΛΕΥΘΕΡΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ ΚΑΙ ΟΠΕΣ

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια περιφέρονται άτακτα στο σώμα ανάμεσα από άτομα και τους δεσμούς για όσο χρονικά διάστημα διατηρούν την αυξημένη τους ενέργεια. Αν μειωθεί σημαντικά η ενέργεια τους επιστρέφουν στην κενή θέση κάποιου ατελούς δεσμού που συναντούν και παύουν να είναι ελεύθερα. Όσο διάστημα τα ηλεκτρόνια αυτά είναι ελεύθερα συμβάλουν στην *ηλεκτρική αγωγιμότητα* του σώματος γι'αυτο ονομάζονται **ηλεκτρόνια αγωγιμότητας**.

Οι κενές θέσεις των χημικών δεσμών δρουν σαν παγίδες δέσμευσης για όσα ελεύθερα ηλεκτρόνια έχουν σχετικά μειωμένη ενέργεια. Αλλά ακόμη και αν δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια δεν σημαίνει ότι η κενή θέση μένει αμετακίνητη αφού είναι ενεργειακά αδιάφορο αν μια κενή θέση ηλεκτρονίου βρίσκεται σε ένα δεσμό ή σε ένα άλλο. Έτσι ένα ηλεκτρόνιο σθένους μπορεί να έλθει από ένα γειτονικό πλήρη δεσμό και να κάνει κατάληψη στη κενή θέση δημιουργώντας ταυτόχρονα κενή θέση στον δεσμό που κατείχε. Ο μηχανισμός αυτός μετακίνησης της κενής θέσης μπορεί να εξακολουθεί να γίνεται απεριόριστα εκτός και αν κάποια στιγμή παγιδέψει ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο και η κενή θέση παψει να υπάρχει αφού πλέον ο δεσμός θα έχει γίνει πλήρης με δυο ηλεκτρόνια.

Έτσι λοιπόν επειδή δόθηκε μια υπόσταση στις κενές θέσεις των ηλεκτρονίων που ονομάζονται **οπές** και συμβολίζονται με **h**. Οι οπές διαγράφουν μια άτακτη κίνηση στο σώμα από έναν δεσμό στον άλλο, αφού είναι τυχαίο από πια πλευρά θα έρθει το γειτονικό ηλεκτρόνιο σθένους που συμπληρώνει τον ατελή δεσμό, όταν όμως επιβληθεί ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο είναι πιθανότερο ότι το ηλεκτρόνιο θα έρθει από τη πλευρά που ευνοεί το πεδίο. Έτσι για παράδειγμα αν το πεδίο έχει τέτοια κατεύθυνση ώστε να προκαλεί την κίνηση των αρνητικά φορτισμένων ηλεκτρονίων από αριστερά προς τα δεξιά η συνεπαγόμενη αντίθετη κίνηση της οπής από δεξιά προς τα αριστερά, δημιουργεί **ηλεκτρικό ρεύμα** και αντιστοιχεί στη συμπεριφορά ενός σωματιδίου ίδιας μάζας με του ηλεκτρονίου αλλά με θετικό στοιχειώδες φορτίο. Έτσι η υλοποίηση της οπής συμπληρώνεται και αποκτά μάζα και φορτίο με πρόσημο (**h+**).

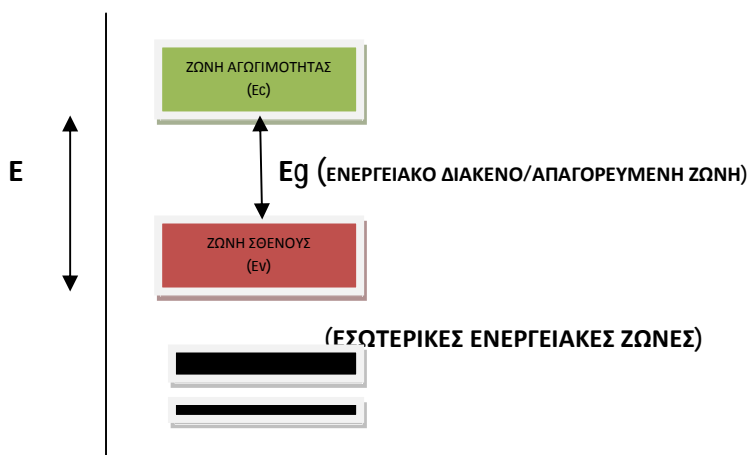
Είδαμε ότι στους ημιαγωγούς εκδηλώνονται δυο ανταγωνιστικοί μηχανισμοί που επηρεάζουν τον πληθυσμό των φορέων. Ο ένας είναι η ελευθέρωση ηλεκτρονίων από τους δεσμούς στις οπές και ο άλλος είναι η παγίδευση ελεύθερων ηλεκτρονίων στις οπές που συνεπάγεται την ταυτόχρονη εξαφάνιση και των δυο. Σε συνθήκες σταθερής ενεργειακής κατάστασης από θερμική, φωτονική ή άλλη ενέργεια γίνεται τελικά αποκατάσταση ισορροπίας και το πλήθος των ηλεκτρονίων που ελευθερώνονται ανά μονάδα όγκου και χρόνου ισούται με το πλήθος των ελεύθερων ηλεκτρονίων που παγιδεύονται στις οπές. Έτσι σε σταθερή θερμοκρασία ή ακτινοβολία, η συγκέντρωση των ελεύθερων

ηλεκτρονίων ή των οπών ενός ημιαγωγού παραμένει αμετάβλητη και είναι χαρακτηριστική για το υλικό και για την θερμοκρασία.

2.4 ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΖΩΝΕΣ ΣΤΟΥΣ ΗΜΙΑΓΩΓΟΥΣ

Τα ηλεκτρόνια των σωμάτων ανήκουν σε τρεις κατηγορίες ,τα **ελεύθερα ηλεκτρόνια**(τα οποία διαθέτουν ενέργεια τόση ώστε να αποσπασθεί από τους δεσμούς του σώματος ,τα **ηλεκτρόνια σθένους** (τα οποία σχηματίζουν τους δεσμούς και κινούνται μόνο προς τις οπές ή ανταλλάσσουν θέσεις με άλλα ηλεκτρόνια γειτονικών ατόμων) και τα **ηλεκτρόνια εσωτερικών στοιβάδων**(τα οποία είναι λιγότερο ενεργά και δεν συμμετέχουν σε μηχανισμούς αγωγιμότητας.)

Οι ενεργειακές στάθμες των ηλεκτρονίων σθένους σχηματίζουν μια **ενεργειακή ζώνη** η οποία ονομάζεται **ζώνη σθένους (Εν)**. Αντίστοιχα οι ενέργειες των **ελεύθερων ηλεκτρονίων** τα οποία είναι υπεύθυνα για την εκδήλωση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας σχηματίζουν την **ζώνη αγωγιμότητας (Εc)**. Η απόσταση ανάμεσα στις δυο ζώνες ονομάζεται **ενεργειακό διάκενο** ή **ενεργειακό χάσμα.**(Eg)



Εικόνα 2.2 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ ΣΘΕΝΟΥΣ

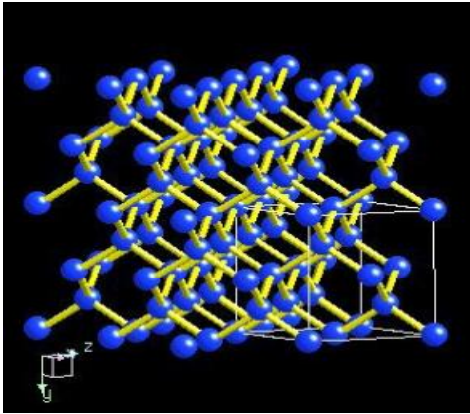
Είναι φανερό ότι το ενεργειακό διάκενο ανάμεσα στις δυο ζώνες εκφράζει την ελάχιστη απαιτούμενη ενέργεια για την διεγερση ενός ηλεκτρονίου σθένους έτσι ώστε να μετατραπεί σε ελεύθερο ηλεκτρόνιο με ταυτόχρονη δημιουργία μιας οπής. Οι τιμές ενέργειας των ηλεκτρονίων σε κάθε σώμα είναι περιορισμένες μέσα στις ενεργειακές ζώνες δηλαδή σε ένα απολύτως καθαρό σώμα (χωρίς προσμίξεις και με τέλειο κρυσταλλικό πλέγμα) δεν υπάρχουν ηλεκτρονικές στάθμες στο διάκενο ανάμεσα στις δυο ζώνες. Έτσι αυτή η περιοχή αποτελεί μια **απαγορευμένη ενεργειακή ζώνη** για τα ηλεκτρόνια.

Αν στα ηλεκτρόνια των δεσμών προσφερθεί μια ποσότητα ενέργειας δηλαδή αν δεχτούν μια δέσμη ακτινοβολίας που αποτελείται από φωτόνια με ενεργειακό κβάντο($h\nu$) μικρότερο από το ενεργειακό διάκενο δεν μπορούν να την απορροφήσουν και μένουν στην ζώνη σθένους. Αν όμως τα ενεργειακά κβάντα είναι ίσα ή μεγαλύτερα από το ενεργειακό διάκενο τότε κάθε κβάντο μπορεί να απορροφηθεί από ένα ηλεκτρόνιο σθένους και να το διεγείρει προς τη ζώνη αγωγιμότητας αφήνοντας στη ζώνη σθένους μια οπή. Η περίσσεια της ενέργεια μεταφέρεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια ως κινητική ενέργεια (E_k) και γίνεται αντιληπτή με την αύξηση της θερμοκρασίας. $E_k=h\nu-E_g$

2.5 ΟΙ ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ ΠΡΟΣΜΙΞΕΩΝ

- (πρόσμιξη πεντασθενους στοιχείου P-Si)

Ας υποθέσουμε ότι ένας τετρασθενής στοιχειακός ημιαγωγός όπως το πυρίτιο βρίσκεται σε κατάσταση τηγματος και ότι έχει γίνει πρόσμιξη μιας μικρής ποσότητας πεντασθενους στοιχείου (πχ φώσφορο P) που ο όγκος των ατόμων του δεν είναι πολύ διαφορετικός από του πυριτίου. Με την ψύξη και σταθεροποίηση του σώματος σχηματίζεται στερεό διάλυμα και τα λίγα άτομα του P ενσωματώνονται στην κρυσταλλική δομή του πυριτίου και τοποθετούνται σε πλεγματικές θέσεις που αλλιώς θα κατείχαν μόνο άτομα του Si.

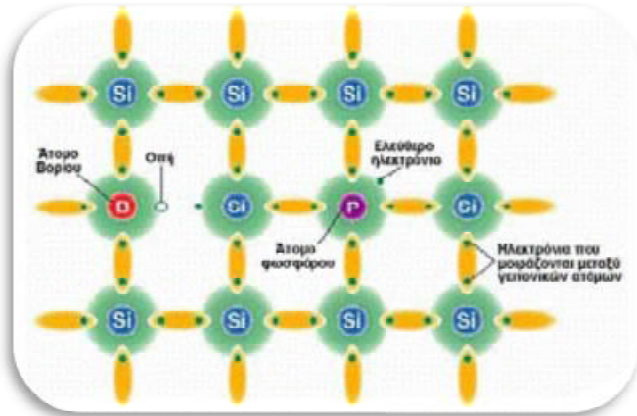


Εικόνα 2.3 ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗ ΔΟΜΗ Si

Τέσσερα από τα πέντε ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου P θα ενωθούν με ηλεκτρόνια σθένους των γειτονικών ατόμων Si και θα σχηματίσουν ομοιοπολικούς δεσμούς όμοιους με τους άλλους δεσμούς του σώματος. Το πέμπτο ηλεκτρόνιο που περισσεύει θα συγκρατείται πολύ χαλαρά από το θετικό πυρηνικό φορτίο του P και με λίγη ενέργεια μπορεί να αποσπαστεί και να κινείται σαν ελεύθερο ηλεκτρόνιο όμοιο με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που προέρχονται από την διέγερση των ηλεκτρονίων σθένους των κανονικών δεσμών του Si. Ύστερα από τη απομάκρυνση του πέμπτου ηλεκτρονίου του, στο άτομο P περισσεύουν κατά ένα θετικά φορτίο και μετατρέπεται σε θετικά φορτισμένο ιόν (P^+) το οποίο μένει ακίνητο στο κρυσταλλικό πλέγμα. Δηλαδή με άλλα λόγια το πεντασθενές άτομο που βρίσκεται σε περιβάλλον από τετρασθενή άτομα συμπεριφέρεται σαν **δότης** ηλεκτρονίων και σύγχρονος μετατρέπεται σε θετικό ιόν.

- (πρόσμιξη τρισθενούς στοιχείου B- Si)

Αντίστοιχα με την πρόσμιξη τρισθενών ατόμων όπως το βόριο σε πλεγματικές θέσεις του πυριτίου δημιουργούνται κενές θέσεις ηλεκτρονίων στους δεσμούς, αφού τα τρία ηλεκτρόνια σθένους κάθε ατόμου βορίου επαρκούν για τους δεσμούς με τρία μόνο από τα τέσσερα άτομα πυριτίου που το περιβάλλουν. Με την απορρόφηση λίγης ενέργειας ένα ηλεκτρόνιο από ένα γειτονικό πλήρη δεσμό μπορεί να μετακινηθεί προς την κενή θέση αφήνοντας στην προηγούμενη θέση του μια οπή. Συγχρόνως με την συμπλήρωση του τέταρτου δεσμού του το βόριο φορτίζεται αρνητικά δηλαδή μετατρέπεται σε αρνητικά φορτισμένο ιόν που μένει ακίνητο στο κρυσταλλικό πλέγμα. Δηλαδή το τρισθενές άτομο το οποίο βρίσκεται σε περιβάλλον από τετρασθενή άτομα συμπεριφέρεται σαν αποδέκτης ηλεκτρονίων.



Εικόνα 2.4 ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟ ΠΛΕΓΜΑ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΜΕ ΑΤΟΜΑ ΠΡΟΣΜΙΞΗΣ

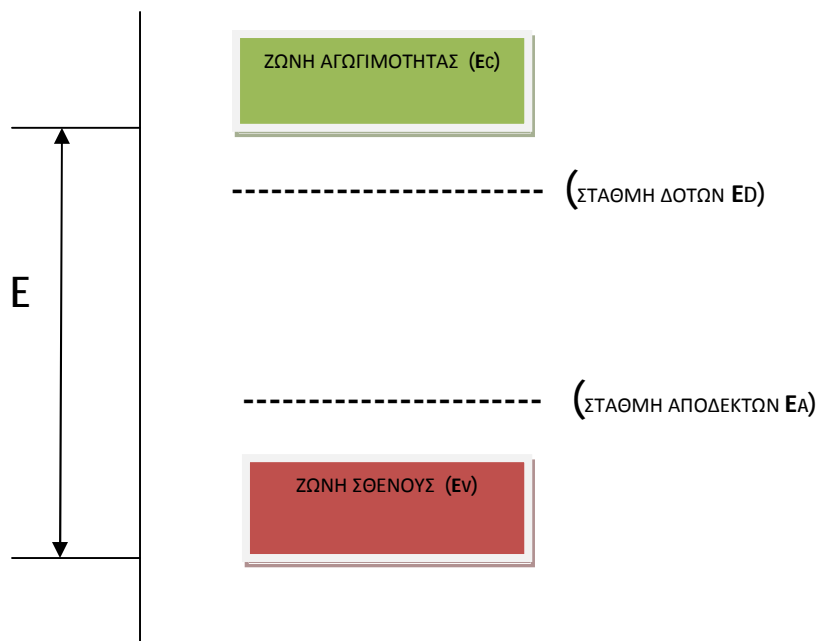
Γενικά οι ημιαγωγοί που οφείλουν την αγωγιμότητα τους σε φορείς που προέρχονται από προσμίξεις ονομάζονται **ημιαγωγοί προσμίξεων** στους τύπους αυτούς όπου επικρατούν δότες και οι κύριοι φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια ονομάζονται **τύπου n**. Αντίστοιχα όταν επικρατούν αποδέκτες οι ημιαγωγοί προσμίξεων ονομάζονται **τύπου p** διότι επικρατούν οι οπές οι οποίες συμπεριφέρονται ως θετικά φορτισμένους φορείς.

Σε διάκριση με τους καθαρούς ημιαγωγούς που η αγωγιμότητα τους οφείλεται σε ξένους παράγοντες αλλά προέρχονται από την ενδογενή διέγερση ηλεκτρονίων σθένους προς την ζώνη αγωγιμότητας ονομάζονται **ενδογενείς ημιαγωγοί**.

2.6 ΦΟΡΕΙΣ ΠΛΕΙΟΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΦΟΡΕΙΣ ΜΕΙΟΝΟΤΗΤΑΣ

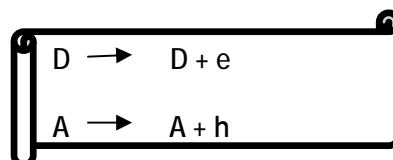
Χαρακτηριστική ιδιότητα των ενδογενών ημιαγωγών είναι η εξίσωση της συγκέντρωσης των ελεύθερων ηλεκτρονίων και της συγκέντρωσης των οπών. Στους ημιαγωγούς προσμίξεων η συγκέντρωση του ενός είδους φορέων (φορείς πλειονότητας) είναι συνήθως πολύ μεγαλύτερη από το άλλο είδος (φορείς μειονότητας) με αποτέλεσμα πολλές φορές η συμβολή των φορέων μειονότητας στη αγωγιμότητα του ημιαγωγού να είναι αμελητέα.

Η ενέργεια που χρειάζεται το πέμπτο ηλεκτρόνιο σθένους του δότη ,σε έναν ημιαγωγό προσμίξεων πεντασθενούς στοιχείου είναι πολύ μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο. Το διάγραμμα των ενεργειακών ζωνών των ημιαγωγών προσμίξεων συμπληρώνεται με στάθμες δοτών και στάθμες αποδεκτών οι οποίοι τοποθετούνται σε αποστάσεις από την ζώνη αγωγιμότητας και τη ζώνη σθένους όσες είναι αντίστοιχες για την διέγερση των προσμίξεων.



Εικόνα 2.5 ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΔΙΑΚΕΝΟ ΔΟΤΩΝ ΚΑΙ ΑΠΟΔΕΚΤΩΝ

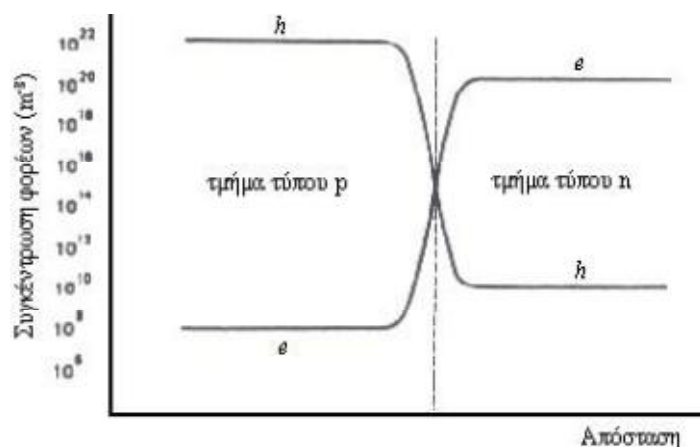
Επειδή η συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος επαρκεί συνήθως για να αποκτήσουν οι προσμίξεις τη λίγη ενέργεια που χρειάζονται για να διεγερθούν, μπορούμε να θεωρήσουμε πρακτικά ότι σε έναν ημιαγωγό όλοι οι δότες έχουν μετατραπεί σε θετικά ιόντα και ελεύθερα ηλεκτρόνια και όλοι οι αποδέκτες σε αρνητικά ιόντα και οπές.



2.7 Η ΕΝΩΣΗ p-n ΚΑΙ Η ΔΙΟΔΟΣ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ

Οι σημαντικότερες εφαρμογές και ιδιότητες των διατάξεων των ημιαγωγών δεν προέρχονται μόνο από την δημιουργία φορέων , αλλά οφείλονται περισσότερο στη διάχυση φορέων τους. Βασική διάταξη για την εκδήλωση των ιδιοτήτων αυτών είναι η **ένωση p-n**. Ο σχηματισμός της διάταξης αυτής γίνεται όταν έλθουν σε επαφή ένα τεμάχιο ημιαγωγού p με ένα τεμάχιο ημιαγωγού n. Τότε ένα μέρος από τις οπές του τεμαχίου p διαχέεται προς το τεμάχιο του n όπου εκεί οι οπές είναι λιγότερες και σύγχρονος ένα μέρος ελεύθερων ηλεκτρονίων του τεμαχίου τύπου n διαχέεται προς το τεμάχιο p διότι εκεί τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι πολύ λιγότερα.

Η ανάμειξη αυτή των φορέων και η αύξηση της συγκέντρωσης των φορέων μειονότητας στις περιοχές κοντά στη διαχωριστική επιφάνεια των τεμαχίων τύπου p και n ανατρέπουν την κατάσταση ισορροπίας που υπήρχε πριν . Η περιοχή μεταξύ των δυο ημιαγωγών p και n ονομάζεται ζώνη εξάντλησης. Η ζώνη αυτή αποτελεί τη δίοδο διέλευσης των οπών και των ηλεκτρονίων από τον ένα ημιαγωγό στον άλλο. Μετά από ένα χρονικό διάστημα και αφού έχουν ολοκληρωθεί οι αντίστοιχες μετατοπίσεις φορέων , επέρχεται μια κατάσταση ισορροπίας όπου οι συγκεντρώσεις των οπών και των ηλεκτρονίων έχουν σταθεροποιηθεί όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



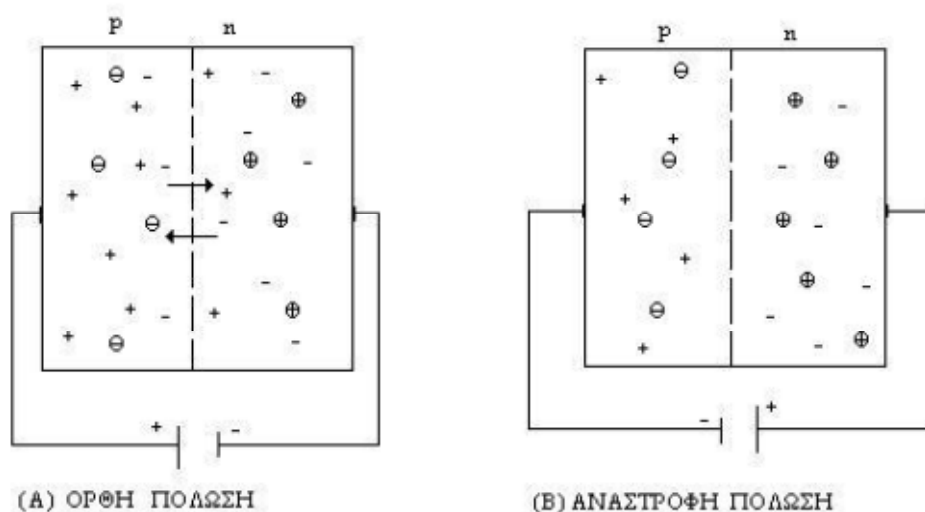
Εικόνα 2.6 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕΙΟΝΟΤΗΤΑΣ ΚΑΙ ΠΛΕΙΟΝΟΤΗΤΑΣ

Σε αντίθεση με τους ευκίνητους φορείς των ημιαγωγών που τείνουν να διαχέονται προς τις περιοχές με τη μικρότερη συγκέντρωση , η συγκέντρωση των αρνητικών ιόντων στα οποία μετατράπηκαν οι αποδέκτες στο τμήμα του τύπου p και των θετικών ιόντων στο τμήμα του τύπου n όπου και μετατράπηκαν οι δότες

παραμένουν αμετάβλητες. Έτσι το υλικό χάνει τοπικά την ηλεκτρική του ουδετερότητα και οι δυο πλευρές της ένωσης φορτίζονται με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία, δημιουργείται δηλαδή μια διαφορά δυναμικού μικρής τάξεως (0.3-0.5) αλλά το ηλεκτροστατικό αυτό πεδίο εμποδίζει την παραπέρα διάχυση των φορέων πλειονότητας προς το απέναντι τμήμα της ένωσης. Το αποτέλεσμα είναι ότι η δίοδος που περιέχει την ένωση παρουσιάζει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος ανάλογα με την φορά του.

2.8 ΟΡΘΗ ΚΑΙ ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ ΠΟΛΩΣΗ ΤΗΣ ΔΙΟΔΟΥ

Στην ορθή πόλωση ο αρνητικός πόλος της πηγής συνδέεται με το τμήμα τύπου n της διόδου και ο θετικός πόλος με το τμήμα τύπου p , τότε τα ηλεκτρόνια ρέουν από την πηγή διάμεσου τμήματος τύπου n προς την περιοχή της ένωσης όπου και επανασυνδέονται με τις οπές που σχηματίζονται με την απομάκρυνση ηλεκτρονίων προς το θετικό πόλο της πηγής διαμέσου του τμήματος p



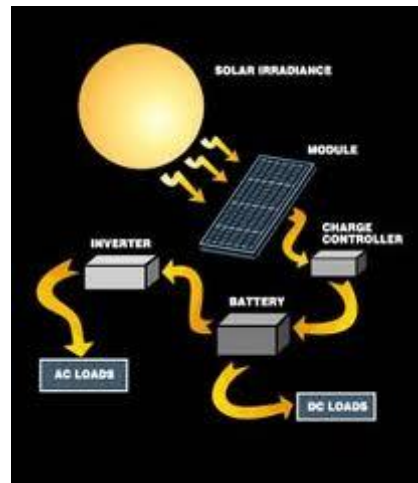
Εικόνα 2.7 ΡΟΗ ΦΟΡΕΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΟΡΘΗ ΚΑΙ ΤΗΝ ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ ΠΟΛΩΣΗ

Αντίθετα στην ανάστροφη πόλωση όπου ο αρνητικός πόλος της πηγής συνδέεται με το τμήμα τύπου p και ο θετικός με το τμήμα του τύπου n γίνεται

επανασύνδεση των οπών του τμήματος τύπου p με τα ηλεκτρόνια να επανέρχονται από την πηγή, και, από τη άλλη μεριά απομάκρυνση των ελεύθερων ηλεκτρονίων του τμήματος τύπου n προς το θετικό πόλο της πηγής. Έτσι, οι συγκεντρώσεις των φορέων μειώνονται πάρα πολύ, το πάχος της ζώνης εξάντλησης αυξάνει και τα φορτισμένα άτομα των προσμίξεων δημιουργούν ένα ισχυρό εσωτερικό ηλεκτροστατικό πεδίο που είναι αντίθετο προς το πεδίο που επιβάλλει η πηγή. Το αποτέλεσμα είναι ότι τώρα η διόδος προβάλλει μεγάλη αντίσταση.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3



3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

3.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

3.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

3.4 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΩΤΟΡΕΥΜΑΤΟΣ

3.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

3.6 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

3.7 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

3.8 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΑΝΕΛΑ & ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ

3.9 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

ΕΞΟΙΚΕΙΩΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΟΡΟΛΟΓΙΑ

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο ονομάζεται η άμεση μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρική τάση. Για ευκολία, συνήθως χρησιμοποιούμε τη σύντμηση Φ/Β για τη λέξη “φωτοβολταϊκό” (*photovoltaic - PV*).

Φωτοβολταϊκό στοιχείο. Η ηλεκτρονική διάταξη που παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν δέχεται ακτινοβολία. Λέγεται ακόμα Φ/Β κύτταρο ή Φ/Β κυψέλη (*PV cell*).

Φωτοβολταϊκό πλαίσιο. Ένα σύνολο Φ/Β στοιχείων που είναι ηλεκτρονικά συνδεδεμένα. Αποτελεί τη βασική δομική μονάδα της Φ/Β γεννήτριας (*PV module*).

Φωτοβολταϊκό πάνελο. Ένα ή περισσότερα Φ/Β πλαίσια, που έχουν προκατασκευαστεί και συναρμολογηθεί σε ενιαία κατασκευή, έτοιμη για να εγκατασταθεί σε Φ/Β εγκατάσταση (*PV panel*).

Φωτοβολταϊκή συστοιχία. Μια ομάδα από Φ/Β πλαίσια ή πάνελα με ηλεκτρική αλληλοσύνδεση, τοποθετημένα συνήθως σε κοινή κατασκευή στήριξης (*PV array*).

Φωτοβολταϊκή γεννήτρια. Το τμήμα μιας Φ/Β εγκατάστασης που περιέχει Φ/Β στοιχεία και παράγει συνεχές ρεύμα (*PV generator*).

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο ανακαλύφθηκε το 1839 από τον Alexandre-Edmund Becquerel. Η πλήρης κατανόηση του φαινομένου επιτεύχθηκε πολύ αργότερα με την πρόοδο της κβαντικής θεωρίας ενώ μόλις την δεκαετία 40 κατασκευάστηκε το πρώτο ηλιακό στοιχείο από πυρίτιο με απόδοση 6%. Το 1955 ξεκίνησε συστηματική έρευνα να χρησιμοποιηθούν τα φωτοβολταϊκά σε διαστημικές αποστολές όπου και κατασκευάστηκε ο Vanguard I, ο πρώτος δορυφόρος στον οποίο χρησιμοποιήθηκαν. Την επόμενη δεκαετία πραγματοποιήθηκαν βελτιώσεις ως προς την κατασκευή, που οδήγησαν στην αύξηση της απόδοσης, η οποία άγγιξε το 14%. Τα τελευταία χρόνια η παραγωγή φωτοβολταϊκών αυξάνει κατά 15% κάθε χρόνο.

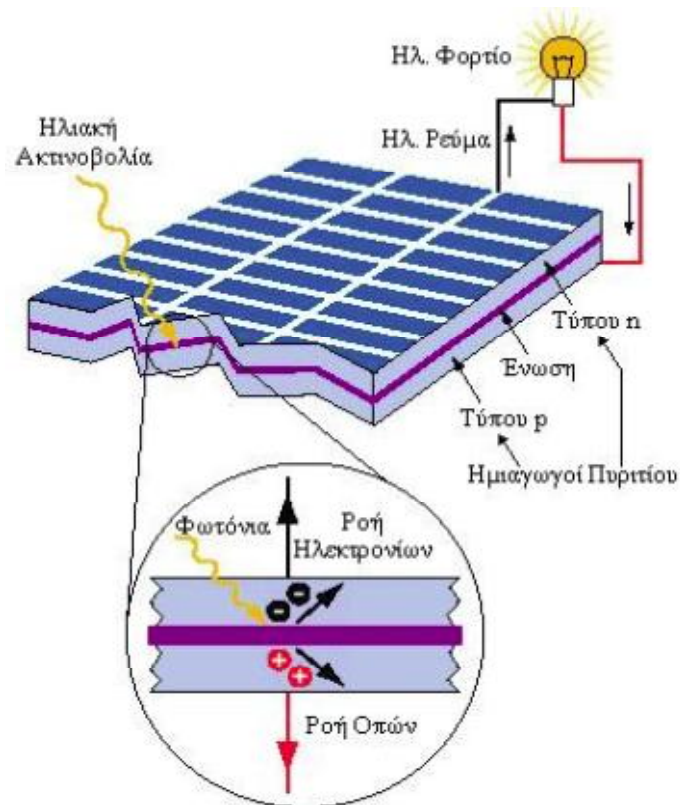
Η άμεση μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρισμό γίνεται με ηλιακά κύτταρα και βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Το φαινόμενο αυτό συνιστάται στην εμφάνιση διαφοράς δυναμικού όταν το φως πέσει σε υλικό στο οποίο υπάρχει εσωτερικό ηλεκτρικό πεδίο λόγω κάποιου φράγματος δυναμικού αυτό συμβαίνει όταν έχουμε δυο περιοχών με διαφορετικές προσμίξεις, λιγότερες 1% σε κάποιο υλικό όπως το πυρίτιο (Si).

3.2 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι ημιαγωγού με τη μορφή ενός δίσκου που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενέργεια ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο μπορεί να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Δημιουργείται έτσι, όσο διαρκεί η ακτινοβολία μια περίσσεια από ζεύγη φορέων πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας. Καθώς οι φορείς αυτοί κυκλοφορούν στο στερεό μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n οπότε και θα δεχτούν την επίδραση του ηλεκτροστατικού πεδίου.

Έτσι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα του τύπου n και οι οπές στο τμήμα τύπου p έχοντας σαν αποτέλεσμα την δημιουργία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δυο τμημάτων της διόδου. Με άλλα λόγια η διάταξη αυτή αποτελεί μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στη επιφάνεια του στοιχείου.

Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δυο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου ονομάζεται **φωτοβολταϊκό φαινόμενο**.



Εικόνα 3.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

3.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ

Στα φωτοβολταϊκά στοιχεία δεν είναι εφικτή η μετατροπή της συνολικής ηλιακής ενέργειας που δέχονται σε ηλεκτρική ενέργεια. Ένα μέρος από τη ακτινοβολία ανακλάται στην επιφάνεια του στοιχείου και διαχέεται πάλι στο περιβάλλον ακτινοβολία που διεισδύει στον ημιαγωγό δεν μπορεί να απορροφηθεί το μέρος το οποίο αποτελείται από φωτόνια τα οποία έχουν ενέργεια μικρότερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού. Αντίθετα τα φωτόνια τα οποία έχουν

ενέργεια μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο απορροφάται μόνο το μέρος εκείνο το οποίο είναι ίσο με το ενεργειακό διάκενο. Το υπόλοιπο μεταφέρεται με την μορφή κινητικής ενέργειας στο ηλεκτρόνιο που ελευθερώθηκε από τον δεσμό και μετατρέπεται τελικά σε θερμότητα ενέργεια ενός φωτονίου E συνδέεται με τη την συχνότητα της ακτινοβολίας ν και με το μήκος κύματος λ με την σχέση

$$E=h\nu=hc/\lambda \text{ όπου } h \text{ σταθερα} \\ \text{δρασης planck } (6.3 \cdot 10^{-34}) \text{ και } c \\ \text{ταχυτητα φωτος } (c=3 \cdot 10^8 \text{ m/s})$$

Έτσι μπορούμε να βρούμε και το μέγιστο χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος ακτινοβολίας σε έναν ημιαγωγό

$$\lambda_g=1238/E_g \text{ (όπου } E_g \text{ το} \\ \text{ενεργειακο διακενο)}$$

Όταν στην επιφάνεια ενός ημιαγωγού διεισδύει μια δέσμη ακτινοβολίας από όμοια φωτόνια ενέργειας $h\nu$ που έχει ροή ιση με H μονάδες ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας, η ροή των φωτονίων (Φ) δηλαδή το πλήθος των φωτονίων ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου θα είναι

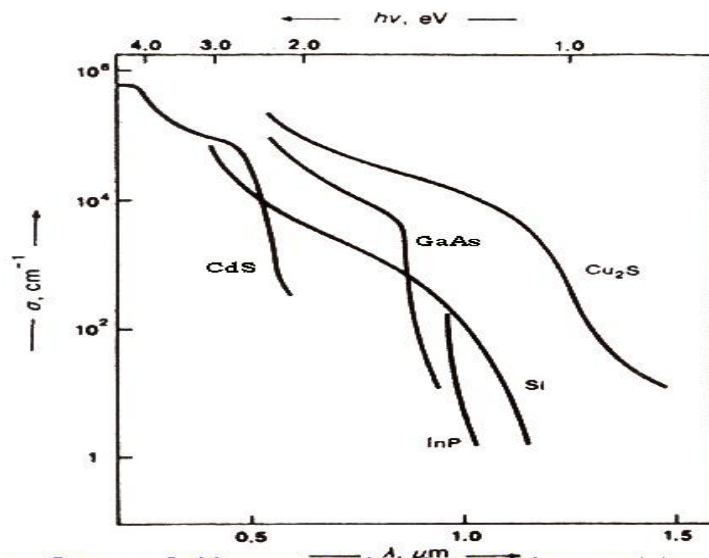
$$\Phi=H/h\nu=H\lambda/hc$$

Όπου για σταθερή ένταση H , η ροή Φ είναι αντίστροφα ανάλογα με την ενέργεια των φωτονίων έτσι αυξάνει γραμμικά το λ . Αν στη συνέχεια συμβολίσουμε με Φ_0 την αρχική τιμή της ροής των φωτονίων στην επιφάνεια ενός ημιαγωγού, με x την απόσταση που διανύει η ακτινοβολία μέσα στον ημιαγωγό αρχίζοντας από τη επιφάνεια του με $\Phi(x)$ την τιμή ροής των φωτονίων (δηλαδή τα φωτόνια τα οποία δεν έχουν απορροφηθεί ακόμα). Έτσι η απορρόφηση των φωτονίων για τη χρησιμοποίηση του ημιαγωγού ως υλικού κατασκευής ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου θα δίνεται από το ρυθμό μεταβολής της Φ με την αύξηση της απόστασης

που διανύει η ακτινοβολία ρυθμός αυτός έχει αρνητική τιμή αφού η Φ μειώνεται με την αύξηση του x , ο οποίος είναι ανάλογος με την $\Phi(x)$ συνεπώς θα ισχύει η σχέση

$$-d\Phi/dx = \alpha\Phi(x) \text{ (οπου } \alpha \text{ ο συντελεστής απορρόφησης)}$$

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ότι η τιμή του συντελεστή απορρόφησης μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.



Σχ.2 Η μεταβολή του συντελεστή απορρόφησης (α) σε συνάρτηση με το μήκος κύματος (λ) ή την ενέργεια των φωτονίων ($h\nu$) της ακτινοβολίας, για τους κυριότερους ημιαγωγούς των φωτοβολταϊκών διατάξεων.

Εικόνα 3.2 Διάγραμμα Συντελεστή απορρόφησης σε συνάρτηση με το μήκος κύματος

Παρατηρούμε ότι η τιμή του συντελεστή απορρόφησης μηδενίζεται όταν το λ υπερβαίνει το λ_g του ημιαγωγού, αφού για όλα τα μήκη κύματος δεν πραγματοποιείται καμία απορρόφηση φωτονίων. Αντίθετα παίρνει μεγάλες τιμές προς την πλευρά των μικρών μηκών κύματος, που σημαίνει η απορρόφηση πρακτικά όλων των αντιστοίχων φωτονίων γίνεται πολύ κοντά στη επιφάνεια του ημιαγωγού.

3.4 Η ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΩΤΟΡΕΥΜΑΤΟΣ

Όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο δέχεται μια κατάλληλη ακτινοβολία παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα που ονομάζεται φωτόρευμα (I_{ph}) και η τιμή του είναι ανάλογη προς τα φωτόνια που απορροφά το στοιχείο. Χρήσιμο μέγεθος για τον

υπολογισμό του φωτορεύματος είναι η φασματική απόκριση S δηλαδή το πλήθος των φορέων στα ηλεκτρόδια του φωτοβολταϊκού στοιχείου, σε σχέση με τη φωτονική ροή, δηλαδή με το πλήθος των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται το στοιχείο ανά μονάδα επιφάνειας και χρόνου. Έτσι για ακτινοβολία μήκους κύματος λ η φασματική απόκριση $S(\lambda)$ θα είναι

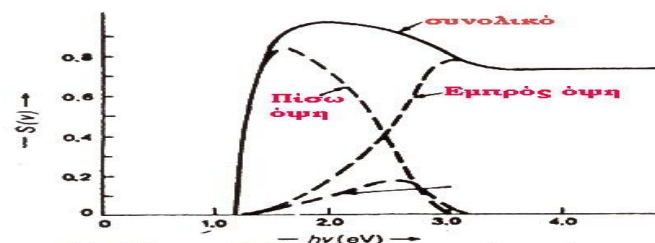
$$S(\lambda) = I_{ph}(\lambda) / e\Phi(\lambda)$$

Συνεπώς το φωτόρευμα υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο

$$I_{ph} = e \int S(\lambda) \Phi(\lambda) d\lambda \quad \text{mA/cm}^2$$

Όπου $R(\lambda)$ ο δείκτης ανάκλασης για ακτινοβολία μήκους κύματος λ

Η τιμή της φασματικής απόκρισης και συνεπώς και του φωτορεύματος εξαρτάται από πολλούς κατασκευαστικούς παράγοντες, όπως είναι ο συντελεστής ανάκλασης στην επιφάνεια του στοιχείου συντελεστής απορρόφησης, το πάχος του ημιαγωγού και το πλήθος των επανασυνδέσεων των φορέων κ.α.



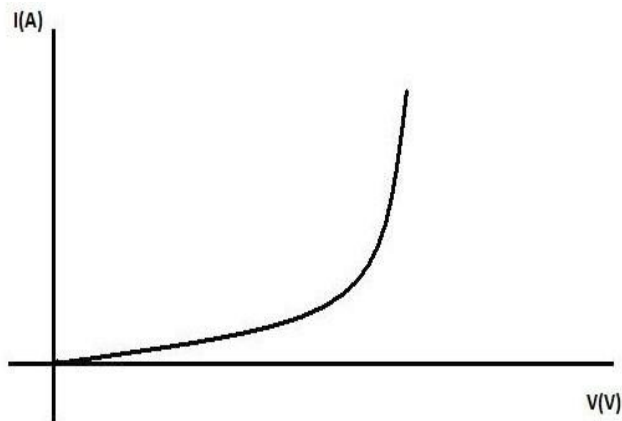
Σκ.3 Η μεταβολή της φασματικής απόκρισης S (v) σε συνάρτηση με την ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας, στις τρεις περιοχές ενός φωτοβολταϊκού ηλιακού στοιχείου πυριτίου: εμπρός όψη τύπου n, ζώνη εξάντλησης και πίσω όψη τύπου p.

Εικόνα 3.3 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμε την μεταβολή της φασματικής απόκρισης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου σε συνάρτηση με την ενέργεια των φωτονίων της ακτινοβολίας που δέχεται.

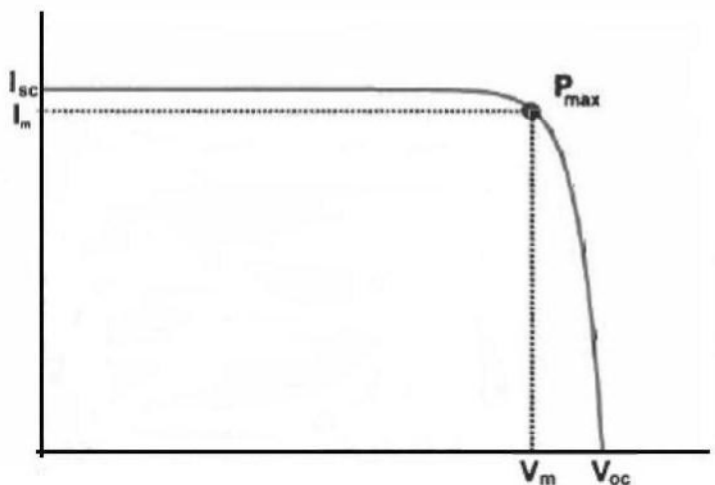
3.5 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ

Πριν ξεκινήσουμε την αναφορά στα ηλεκτρικά στοιχεία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου σημαντικό είναι να γνωρίζουμε πως όταν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο δεν φωτίζεται τότε έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με μια μεγάλη δίοδο.



Εικόνα 3.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ ΔΙΟΔΟΥ

Όταν αρχίζει να φωτίζεται και να παράγει ηλεκτρική ενέργεια τότε παίρνουμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες I-V όπως φαίνεται στο (σχήμα 3.5)



Εικόνα 3.5 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΚΑΜΠΥΛΗ I-V Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

Καιρός λοιπόν να ασχοληθούμε και να περιγράψουμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου που αφορούν την λειτουργία του και αυτά είναι

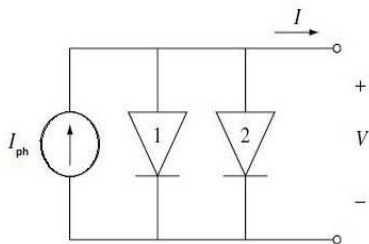
- Το ρεύμα βραχυκύκλωσης: I_{sc}
- Τάση ανοιχτού κυκλώματος: V_{oc}
- Σημείο μέγιστης λειτουργίας: V_m, I_m
- Μέγιστη ισχύς: P_{max}
- Συντελεστής πλήρωσης: FF
- Απόδοση: η

(α) ρεύμα βραχυκύκλωσης

Σε συνθήκες βραχυκύκλωσης των δυο ακροδεκτών του στοιχείου το ρεύμα βραχυκύκλωσης ισούται με το παραγόμενο φωτορεύμα

$$I_{sc} = I_{ph}$$

(β) τάση ανοιχτού κυκλώματος



Εικόνα 3.6 Ισοδύναμο ϕ/β στοιχείου

Σε ανοιχτό κύκλωμα όλο το φωτορεύμα ρέει κατά μήκος της πρώτης διόδου ,έτσι λοιπόν η τάση ανοιχτού κυκλώματος μπορεί να γραφτεί και να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$V_{oc} = (\gamma kT/e) \ln(I_{ph}/I_0) \text{ (mV)}$$

(γ) συντελεστής πλήρωσης

Όσον αφορά το συντελεστή πλήρωσης (fill factor- FF) μπορούμε να πούμε ότι είναι μια παράμετρος η οποία προσδιορίζει την μέγιστη ισχύ ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου. Γραφικά ο FF φαίνεται στο (σχήμα 3.5) και είναι η περιοχή που καλύπτει το μεγαλύτερο ορθογώνιο παραλληλόγραμμο το οποίο ταιριάζει μέσα στην καμπύλη $I-V$. Ο τύπος που μας δίνει τον παράγοντα αυτό είναι:

$$FF = I_m V_m / I_{sc} V_{oc}$$

(δ) απόδοση η

Ένα πολύ σημαντικό ηλεκτρικό χαρακτηριστικό των φωτοβολταϊκών στοιχείων είναι και η απόδοση η την οποία μπορούμε να την υπολογίσουμε με την βοήθεια των υπολοίπων χαρακτηριστικών μεγεθών και δίνεται από τον τύπο:

$$\eta = FF \cdot I_{sc} \cdot V_{oc} / H \cdot A \quad (\text{όπου } H \text{ η πυκνότητα ισχύος της ακτινοβολίας που δεχεται η επιφάνεια του } \phi/\beta \text{ στοιχείου εμβαδου } A)$$

Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά που είτε τα συναντάμε σε μια χαρακτηριστική καμπύλη I-V είτε προκύπτουν από τα χαρακτηριστικά μιας τέτοιας καμπύλης περιγράφουν την λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου και κατά συνέπεια τη λειτουργία ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου.

3.6 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

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

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του πυριτίου είναι, ότι μπορεί να βρεθεί πάρα πολύ εύκολα στη φύση. Είναι το δεύτερο σε αφθονία υλικό που υπάρχει στο πλανήτη μετά το οξυγόνο .Το πυρίτιο μπορεί εύκολα να λιώσει και να μορφοποιηθεί και είναι σχετικά εύκολο να μετατραπεί στην μονοκρυσταλλική του μορφή, οι ηλεκτρικές του ιδιότητες μπορούν να διατηρηθούν μέχρι και τους 1250C κάτι που επιτρέπει την χρήση του πυριτίου σε ιδιαίτερα δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες και είναι ο πιο σημαντικός λόγος που τα φωτοβολταϊκά στοιχεία του πυριτίου ανταποκρίνονται σε ευρύ φάσμα θερμοκρασιών .Πολύ σημαντικό στοιχείο, που συνέβαλε στην γρήγορη ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών στοιχείων τα τελευταία χρόνια, ήταν η ήδη αναπτυγμένη τεχνολογία στην βιομηχανία της επεξεργασίας πυριτίου στον τομέα της ηλεκτρονικής (πχ υπολογιστές, τηλεοράσεις κα)

Μια κατηγοριοποίηση για τα φωτοβολταϊκά στοιχεία γίνεται με βάση το πάχος του υλικού που χρησιμοποιείται. Έτσι έχουμε δυο κατηγορίες .Τα

φωτοβολταϊκά υλικά **μεγάλου πάχους** και τα φωτοβολταϊκά υλικά **λεπτών επιστρώσεων**.

Ø Τα φωτοβολταϊκά συστήματα πυριτίου μεγάλου πάχους χωρίζονται στις τρεις παρακάτω κατηγορίες:

1. Φωτοβολταϊκά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου



Εικόνα 3.7 ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Το πάχος τους είναι γύρω στα 0.3 χιλιοστά απόδοση τους στη βιομηχανία κυμαίνεται από 15-18% για το πλαίσιο. Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης-επιφάνειας, τα στοιχεία αυτά έχουν υψηλό κόστος κατασκευής. Το μονοκρυσταλλικό φωτοβολταϊκό με την υψηλότερη απόδοση στο εμπόριο σήμερα είναι της *shun Power* με απόδοση πλαισίου 18.5% και είναι το μοναδικό που έχει μεταλλικές επαφές στο πίσω μέρος αποκομίζοντας έτσι μεγαλύτερη επιφάνεια αλληλεπίδρασης με την ηλιακή ακτινοβολία.

2. Φωτοβολταϊκά στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου

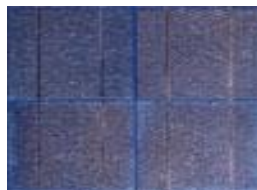


Εικόνα 3.8 ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Το πάχος τους είναι 0.3 χιλιοστά μέθοδος παραγωγής τους καθώς και η τιμή τους είναι φθηνότερη από αυτήν των μονοκρυσταλλικών. Οπτικά μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις επιμέρους μονοκρυσταλλικές περιοχές με αποτέλεσμα όσο μεγαλύτερες είναι αυτές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα

πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελία. Σε εργαστηριακές εφαρμογές έχουν επιτευχτεί αποδόσεις έως και 20% ενώ στο εμπόριο τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία διατίθενται 15-17

3.φωτοβολταικα στοιχεία ταινίας πυριτίου



Εικόνα 3.9 ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΤΑΙΝΙΑΣ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία, αναπτύσσεται από την Evergreen Solar , προσφέρει έως και 50% μείωση στη χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών .Το πάχος τους είναι 0.3 χιλιοστά και η απόδοση τους φτάνει γύρω στο 12-13%.Στο εργαστήριο έχει επιτευχτεί και απόδοση της τάξεως 18%.

∅ Τα φωτοβολταϊκά υλικά λεπτών επιστρώσεων σε τέσσερις κατηγορίες:

1.Thin film(Δισεληνοϊωδιούχος χαλκός)



Εικόνα 3.10 ΣΤΟΙΧΕΙΟ THIN FILM

Τα Thin film έχουν εξαιρετική απορροφητικότητα στο προσπίπτον φως αλλά παρόλα αυτά η απόδοση τους κυμαίνεται γύρω στο 11%.Στο εργαστήριο έχει επιτευχτεί και απόδοση της τάξεως 18%.Με την πρόσμιξη του γάλλιου μπορεί η απόδοση του να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Το μοναδικό πρόβλημα είναι ότι το ιώδιο είναι περιορισμένο στη φύση για το λόγο του υψηλού κόστους τους.

2.φωτοβολταικα στοιχεια άμορφου πυριτίου



Εικόνα 3.11 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΜΟΡΦΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δυο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού(πυρίτιο) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης το οποίο είναι χαμηλού κόστους όπως το γυαλί και το αλουμίνιο. Η τιμή τους είναι αρκετά χαμηλότερη και η τιμή απόδοσης τους κυμαίνεται γύρω στο 6-8% ενώ στο εργαστήριο έχει επιτευχθεί αποδόσεις της τάξεως του 14%.

3.Τελουριουχο Κάδμιο(CdTe)



Εικόνα 3.12 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΛΟΥΡΙΟΥΧΟΥ ΚΑΔΜΙΟΥ

Το Τελουριούχο Κάδμιο έχει την δυνατότητα να απορροφά το 99% της προσπίπτουσας ακτινοβολίας για το λόγο το ότι το ενεργειακό του διάκενο είναι στο 1 eV .Η τιμή απόδοσης του κυμαίνεται γύρω στο 6-8% ενώ στο εργαστήριο έχει επιτευχθεί απόδοση της τάξεως του 16%.Η τιμή του είναι αρκετά υψηλή. Τροχοπέδη στη χρήση του όμως είναι ότι το κάδμιο είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα η χρήση του να μην είναι τόσο μεγάλη.

4. Αρσενικούχο Γάλλιο(GaAs)



Εικόνα 3.13 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥΧΟΥ ΓΑΛΛΙΟΥ

Το Γάλλιο είναι ένα παραπροϊόν ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από το χρυσό. Το Αρσένιο δεν είναι σπάνιο αλλά έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες. Το ενεργειακό διάκενο του αρσενικούχου γάλλιου είναι 1.43 eV που είναι ιδανικό για την απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας απόδοση του αγγίζει το 29% ,είναι ανθεκτικά σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και για το λόγο αυτό ενδείκνυται για διαστημικές εφαρμογές. Το κόστος του είναι βέβαια αρκετά πολύ υψηλό.

Τέλος υπάρχει ακόμα μια κατηγορία φωτοβολταϊκών στοιχείων τα **υβριδικά**. Ένα υβριδικό φωτοβολταϊκό στοιχείο αποτελείται από στρώσεις υλικών διαφόρων τεχνολογιών. Τα πιο γνωστά υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία(HIT) αποτελούνται από δυο στρώσεις άμορφου πυριτίου(πάνω και κάτω)ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου βαθμός απόδοσης τους είναι 17.2% .Μεγάλο πλεονέκτημα τους είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στη διαχεόμενη ακτινοβολία. Το κόστος του υβριδικού φωτοβολταϊκού είναι πολύ υψηλή.

3.7 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

Το βασικό χαρακτηριστικό κάθε εγκατάστασης είναι η Φ/Β γεννήτρια που αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες με τα ηλιακά φ/β στοιχεία. Η τάση όμως και η ισχύς των φ/β στοιχείων είναι πολύ μικρή για να ανταποκριθεί στην τροφοδότηση των συνηθισμένων ηλεκτρικών καταναλώσεων.

Ειδικότερα η τάση που καταναλώνει ένα στοιχείο πυριτίου του εμπορίου είναι 0.5v περίπου και η ηλεκτρική ισχύς που παράγει είναι μόλις 0.4w.Γιαυτο και τα φωτοβολταϊκά στοιχεία που χρησιμοποιούνται στη συγκρότηση φ/β γεννητριών

τοποθετούνται ανά 10-50 περίπου σε ένα πλαίσιο με κοινή ηλεκτρική έξοδο. Στο πλαίσιο τα στοιχεία συνδέονται σε σειρά για την απόκτηση μιας επιθυμητής τάσης.

Τα πλαίσια είναι κατασκευασμένα με μορφή σάντουιτς, δηλαδή τα ηλιακά στοιχεία στερεώνονται με μια κολλητική ουσία σε ένα ανθεκτικό φύλλο από μέταλλο ή από ενισχυμένο πλαστικό που αποτελεί τη πλάτη του πλαισίου ενώ η εμπρός όψη του καλύπτεται από ένα προστατευτικό διαφανές φύλλο γυαλιού ή πλαστικού εμπρός και πίσω όψη συγκρατούνται στεγανά με μόνιμα με τη βοήθεια μιας ταινίας από φυσικό ή συνθετικό ελαστικό και σφίγγονται με ένα περιμετρικό μεταλλικό περίβλημα.

Έτσι διαμορφώνεται το φ/β πλαίσιο που είναι η δομική μονάδα που κατασκευάζεται βιομηχανικά και χρησιμοποιείται ως συλλέκτης στη συγκρότηση των φ/β γεννητριών. Τέλος πριν βγουν στο εμπόριο τα φ/β πλαίσια υποβάλλονται σε μια σειρά από αυστηρές δοκιμές ποιοτικού έλεγχου με θερμικές και μηχανικές καταπονήσεις.

3.7.1 ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Κάθε φωτοβολταϊκό πλαίσιο παρουσιάζει τα δικά του ηλεκτρικά χαρακτηριστικά(απόδοση, τάση ισχύ..)τα οποία διαμορφώνονται από τα αντίστοιχα μεγέθη των χωριστών ηλιακών στοιχείων που περιέχει. Έτσι ο συντελεστής απόδοσης του φ/β πλαισίου (η_{π}) εκφράζει το μέγεθος της μέγιστης ισχύος που παράγει το φ/β πλαίσιο (p_{π}) προς τη ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στη επιφάνεια του S .

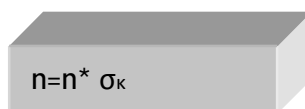
$$\eta_{\pi} = p_{\pi} / H * S \quad \text{w}/(\text{wlm}2) * \text{m}2$$

Την ίδια τιμή θα έχει και ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας E που παράγει το φ/β πλαίσιο επί ένα ορισμένο χρονικό διάστημα προς τη ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται επί το ίδιο χρονικό διάστημα.

$$\eta_{\pi} = E / \Pi * S \quad \text{KW}/(\text{KW}/\text{Wlm}2) * \text{m}2$$

οπου Π η πυκνοτητα της ηλιακης ακτινοβολιας που πεφτει πανω στην επιφανεια του πλαισιου

Η τιμή του η_{π} εξαρτάται και από τον συντελεστή κάλυψης του πλαισίου (σ_{κ}) που ορίζεται ο λόγος της επιφάνειας του ημιαγωγού όπου γίνεται η απορρόφηση και μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας προς τη συνολική επιφάνεια του φωτοβολταϊκού πλαισίου


$$\eta = \eta^* \sigma_{\kappa}$$

Η τιμή σ_{κ} εξαρτάται κυρίως από το σχήμα και την πυκνότητα των ηλιακών στοιχείων πάνω στο φωτοβολταϊκό πλαίσιο.

3.7.2 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΤΗΣ ΡΥΠΑΝΣΗΣ

Η απόδοση των ϕ/β στοιχείων επηρεάζεται από την θερμοκρασία σημαντικά συντελεστής απόδοσης που δίνεται για τα β/β πλαίσια αντιστοιχεί σε μια συμβατή θερμοκρασία η οποία είναι συνήθως 20 c, η οποία μάλιστα τους θερινούς μήνες διαφέρει από την πραγματική θερμοκρασία του στοιχείου. Έχει μετρηθεί ότι τα ηλιακά στοιχεία αποκτούν κατά την λειτουργία τους θερμοκρασία μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά 25 έως 30 c. Έτσι αν το σύστημα θέλουμε να παράγει περισσότερη ενέργεια το καλοκαίρι η κλίση του θα είναι 10-15 μικρότερη από την κανονική του θέση ενώ τους χειμερινούς μήνες η κλίση του θα είναι 10-15 μεγαλύτερη από τη κανονική του θέση.

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να μειώσει την ηλεκτροπαραγωγή των ϕ/β πλαισίων είναι η ρύπανση της επιφάνειας τους από επικαθήσει σκόνης, φύλλων και άλλων ακαθαρσιών . Γιαυτό πρέπει να γίνεται περιοδικός έλεγχος της επιφάνειας των ϕ/β πλαισίων. Σε περιοχές όπου υπάρχουν έντονες χιονοπτώσεις οι ηλιακοί συλλέκτες τοποθετούνται με κλίση 90 για την αποφυγή συσσώρευσης χιονιού.

3.7.3 Η ΙΣΧΥΣ ΑΙΧΜΗΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Συχνά δεν είναι διαθέσιμα όλα τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των φωτοβολταϊκών πλαισίων αλλά δίνεται μόνο μια ενδεικτική ισχύς αιχμής (P_a) που αντιστοιχεί στη παραγόμενη μέγιστη ηλεκτρική ισχύ όταν το φωτοβολταϊκό πλαίσιο δεχτεί ηλιακή ακτινοβολία με πυκνότητα ισχύος 1kw/m². Οι μονάδες ισχύος που

εκφράζουν την ισχύ αιχμής ενός φ/β πλαισίου ή μιας ολόκληρης φωτοβολταϊκής εγκατάστασης ονομάζονται βατ αιχμής(Wp) ή κιλοβάτ αιχμής (kWp).

3.8 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΑΝΕΛΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΟΙΧΙΕΣ

Συνώνυμο με το φ/β πλαίσιο είναι και το φ/β πανέλο αλλά με τη διαφορά ότι το πανέλο μπορεί να αποτελείται από περισσότερα χωριστά πλαίσια που είναι σε κοινή συσκευασία και κοινή ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους.



Εικόνα 3.14 Φ/Β ΠΑΝΕΛ

Ο αριθμός των πλαισίων ενός πανέλου είναι τόσος ώστε οι διαστάσεις και το βάρος του να μην είναι εμπόδιο για την μεταφορά και την τοποθέτηση του. Για τη αύξηση της αξιοπιστίας ενός φ/β συστήματος είναι σκόπιμο οι συνδέσεις των φ/β στοιχείων μέσα στα πλαίσια αλλά και στα πανέλα ή ανάμεσα στα γειτονικά πλαίσια να μην είναι μόνο σε σειρά αλλά και παράλληλα συνδεδεμένα. Έτσι αν ένα φ/β στοιχείο σκιαστεί ή πάθει βλάβη δεν θα μηδενιστεί η ισχύς του.

Η φωτοβολταϊκή γεννήτρια μιας εγκατάστασης μπορεί να αποτελείται από ένα μόνο πανέλο μεγαλύτερες εγκαταστάσεις τα φ/β πανελα τοποθετούνται σε κοινή κατασκευή στήριξης τις φ/β συστοιχίες.



Εικόνα 3.15 Φ/Β ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ

Η σύνδεση των φ/β πλαισίων στη σειρά ή παράλληλα γίνεται με τρόπο που η τάση εξόδου της συστοιχίας να αποκτά την επιθυμητή τιμή. Είναι φανερό ότι η διαφορετική συνδεσμολογία των πλαισίων μιας φ/β γεννήτριας δεν μεταβάλλει τη ισχύ της, αφού η οποία αύξηση της τάσης εξόδου της γεννήτριας συνεπάγεται ανάλογη μείωση της έντασης του ρεύματος.

3.9 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Πέρα από τις διάφορες διορθώσεις που αναφέραμε παραπάνω πρέπει επίσης να λάβουμε υπόψη και να προνοήσουμε για τις μικρές ηλεκτρικές απώλειες που παρουσιάζονται στους αγωγούς που συνδέουν τα φ/β πλαίσια στις συστοιχίες καθώς και στις συνδέσεις τους με άλλα μέρη του φ/β συστήματος. Πρόσθετες και μάλιστα σημαντικότερες απώλειες μπορεί να οφείλονται κυρίως στη φόρτιση και εκφόρτωση συσσωρευτών.

Είναι όμως πολύ πιθανό ιδίως όταν το σύστημα δεν έχει αξιόπιστο ρυθμιστή ισχύος ότι κατά τη λειτουργία του θα υπάρχει μια αξιόλογη απόκλιση από τις ιδανικές συνθήκες με αποτέλεσμα την εμφάνιση απώλειας στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επομένως κατά τον υπολογισμό της απαιτούμενης επιφάνειας των φ/β συλλεκτών ενός συστήματος πρέπει να γίνεται πρόβλεψη ανάλογα και για την κάλυψη όλων αυτών των απωλειών που μπορεί να είναι της τάξης 20-30% της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Τέλος λόγω της φθοράς στα φ/β πλαίσια και στα άλλα μέρη του συστήματος αναμένεται ότι με την πάροδο του χρόνου θα παρουσιάζεται μια μικρή βαθμιαία πτώση στη ποσότητα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που συνήθως είναι 1-2% για κάθε έτος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4



4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

4.2 ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

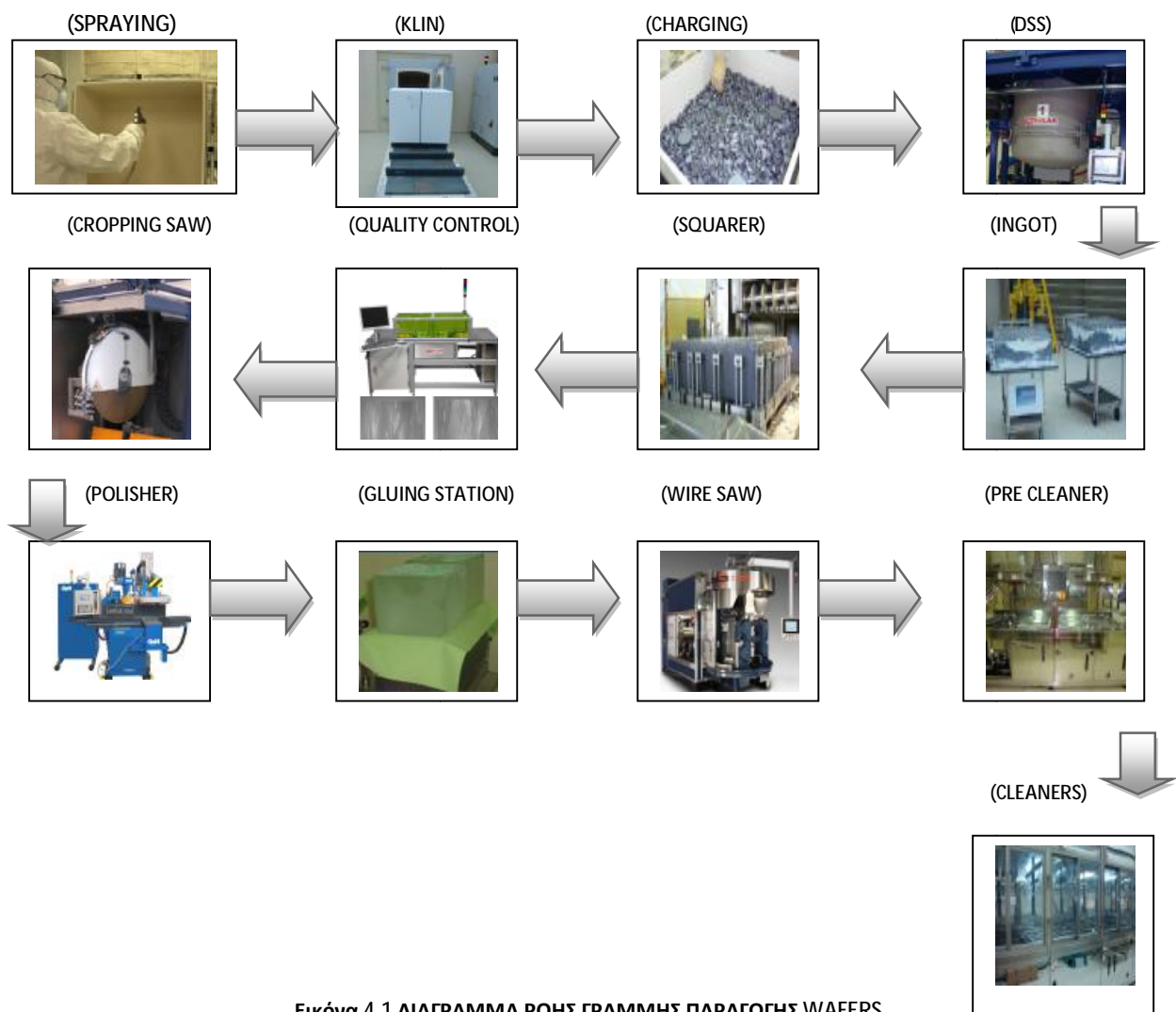
4.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία παραγωγής δισκίων πυριτίου αναλυτικά από την πρώτη ύλη, το πυρίτιο μέχρι το wafer μετά από μηχανική και χημική επεξεργασία καθώς και πλύσιμο στο τελικό στάδιο ώστε να πάρει την μορφή που χρειάζεται για να χρησιμοποιηθεί με την σειρά του σαν πρώτη υλη για την παραγωγή ηλιακών κελίων.

Περιγράφονται τα στάδια αναλυτικά ,οι ποιοτικοί έλεγχοι που πραγματοποιούνται στα ενδιάμεσα στάδια και η περιγραφή των μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό.

4.2 ΣΤΑΔΙΑ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



Εικόνα 4.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ WAFERS

Αρχικά προετοιμάζεται το καλούπι στο οποίο τοποθετείται το πυρίτιο προκειμένου να σχηματιστούν οι κρύσταλλοι. Η προετοιμασία αυτή γίνεται με ψέκασμα του καλουπιού με νιτρίδιο του πυριτίου και ειδικό πιστόλι ψεκασμού. Αφού ετοιμαστεί το καλούπι αυτό μεταφέρεται στο kiln (φούρνος) το οποίο θερμαίνεται σταθεροποιείται σε μια θερμοκρασία και στη συνέχεια ψύχεται με σκοπό να ομογενοποιηθεί το νιτρίδιο του πυριτίου με την επιφάνεια του καλουπιού.

Στη συνέχεια και αφού περάσει κάποιος χρόνος το crucible πλέον φορτώνεται με διάφορα μεγέθη πυριτίου σε μορφή πετρωμάτων προστίθεται στο τέλος και μια ταμπλέτα βορίου προκειμένου μετά την κρυστάλλωση του πυριτίου να σχηματιστεί και η P περιοχή του ημιαγωγού. Έπειτα το crucible μεταφέρεται στους φούρνους(DSS) άμεσης κρυσταλλοποίησης και μετά αριθμό σταδίων θέρμανσης κρυσταλλοποίησης και ψύξης έχει σχηματιστεί το ingot το οποίο έχει την μορφή συμπαγούς πολυκρυσταλλικού κύβου. Στο επόμενο στάδιο αφαιρείται το καλούπι και το ingot προετοιμάζεται ώστε να κοπεί σε μικρότερους κύβους(bricks). Το ingot τοποθετείται σε μεταλλική πλάκα η οποία επικαλύπτεται με αφρό συγκρατεί το ingot και το σταθεροποιεί. Το ingot φορτώνεται σε ειδικό πριόνι (squarer) και κόβεται με την βοήθεια παχύρευστου υγρού(slurry) που προετοιμάζεται ξεχωριστά από καρβίδιο του πυριτίου και PEG. Το slurry εκτός από μέσο λείανσης στη κοπή αποτελεί και μέσο ψύξης. Μετά την κοπή έχουμε 25 bricks τα οποία αφαιρούνται από την μεταλλική πλάκα και πλένονται ώστε να αφαιρεθούν οποιαδήποτε υπολείμματα slurry και κοπής υπάρχουν. Τα bricks σημαδεύονται ανάλογα με τη θέση τους στο ingot πράγμα που υποδεικνύει και τη ποιότητα τους(ποσοστό προσμίξεων)

A/C	B/B	C/B	D/C
E/B	F/A	G/A	H/B
I/B	J/A	K/A	L/B
M/C	N/B	O/B	P/C

Εικόνα 4.2 ΣΗΜΑΝΣΗ ΚΑΤΟΨΗΣ INGOT

Τα bricks μετακινούνται σε δωμάτιο για τον έλεγχο της ποιότητας τους, πραγματοποιούνται τρία είδη ελέγχου: έλεγχος διάρκειας ζωής(lifetime test), έλεγχος αγωγιμότητας(resistivity test), έλεγχος εσωτερικών ρωγμών(IR imaging station). Όσα bricks αποτυγχάνουν σε κάποια από τα τεστ δεν συνεχίζουν στην γραμμή παραγωγής παρά ακολουθούν διαδικασία ανακύκλωσης και επανεκκίνησης

από το πρώτο στάδιο. Τα υπόλοιπα bricks επεξεργάζονται στο cropping saw όπου αφαιρούνται τμήματα από την επάνω και κάτω επιφάνεια του brick λόγω του ότι σε αυτές τις περιοχές οι προσμίξεις είναι αυξημένες. Αφού κοπούν τα bricks επεξεργάζονται στο brick polisher όπου τρίβονται και οι τέσσερις πλευρές του, λειαινούνται και αποκτά τις επιθυμητές διαστάσεις επίσης στρογγυλεύονται οι γωνίες. Σκοπός αυτής της στρογγύλευσης είναι η αποφυγή θραύσης των wafers στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας. Μετά το brick polisher δυο bricks κολλιούνται σε επιφάνεια γυαλιού (beam) χρησιμοποιώντας ειδική κόλλα και παραμένοντας σε αυτή τη φάση μερικές ώρες ώστε να συγκολληθούν καλά. Στο επόμενο στάδιο τέσσερα beams φορτώνονται σε ειδικό πριόνι (wire saw) και κόβονται σε πολύ λεπτές φέτες (180-200 μm) με την βοήθεια παχύρευστου υγρού (slurry) που χρησιμοποιείται για τους ίδιους λόγους με πριν όμως έχει μικρότερους κόκκους καρβιδίου. Αποτέλεσμα της κοπής είναι η δημιουργία των wafers κολλημένα όμως στη πλάκα γυαλιού που έχουμε χρησιμοποιήσει γι' αυτό και στο τελικό στάδιο απομένει να ξεκολλήσουν τα wafers από το γυαλί και να καθαριστούν από υπολείμματα κοπής, preg και slurry.

Στο pre cleaner επιτυγχάνεται η αποκόλληση των wafers από το γυαλί και ένα πρώτο στάδιο καθαρισμού. Στο cleaner καθαρίζεται πλήρως το wafer και είναι πλέον έτοιμο να προχωρήσει στη διαδικασία παραγωγής cell.

4.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ

SPRAYING-CRUCIBLE PREPARATION

Η πρώτη βασική διαδικασία είναι η χύτευση της πρώτης ύλης δηλαδή του πυριτίου για την δημιουργία της ράβδου πυριτίου (ingot). Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά απλή καθώς λιώνει αρχικά το πυρίτιο σε ένα μεγάλο καλούπι και στην συνέχεια αφήνεται να κρυώσει ώστε να δημιουργήσει μεγάλους κρυστάλλους. Οι λεπτομέρειες του σχεδίου του κλίβανου επιτρέπουν στη ράβδο να κρυώσει αργά και έτσι σχηματίζονται κόκκοι μεγαλύτεροι του ενός εκατοστού.



ΕΙΚΟΝΑ 4.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΚΑΙ ΨΕΚΑΣΜΑ

KILN

Με την βοήθεια αυτού του μηχανήματος θερμαίνονται σε υψηλή θερμοκρασία το καλούπι με το νιτρίδιο του πυριτίου ώστε να γίνουν ένα σώμα. Η θερμοκρασία ανεβαίνει σταδιακά και μετά την ομογενοποίησή ψύχονται ώστε να ξεφορτωθεί το καλούπι σε θερμοκρασία παραπλήσια με την θερμοκρασία περιβάλλοντος.



ΕΙΚΟΝΑ 4.4 KILN

ΣΚΟΠΟΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

- 1) -ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΚΑΙ ΝΙΤΡΙΔΙΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ
- 2) -ΟΜΟΓΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΣΩΜΑΤΩΝ
- 3) -ΨΥΞΗ

CRUCIBLE CHARGING

Σε αυτό το στάδιο γίνεται το φόρτωμα του καλουπιού με την πρώτη υλη το πυρίτιο σε τέσσερα μεγέθη και η προσθήκη βορίου



ΕΙΚΟΝΑ 4.5 ΦΟΡΤΩΜΑ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ

DSS

Στη φάση της κρυσταλλοποίησης το crucible φορτώνεται σε ειδικό φούρνο, θερμαίνεται και λιώνει το πυρίτιο σχηματίζοντας τήγμα. Στη συνέχεια ψύχεται σταδιακά ώστε να σχηματιστούν οι κρυστάλλοι. Η διαδικασία θέρμανσης, κρυσταλλοποίησης και ψύξης διαρκεί περίπου 50 ώρες.



Εικόνα 4.6 ΦΟΡΤΩΜΑ ΦΟΥΡΝΟΥ DSS

ΣΚΟΠΟΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

- 1) -ΘΕΡΜΑΝΣΗ CRUCIBLE
- 2) -ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΓΜΑΤΟΣ
- 3) -ΚΡΥΣΤΑΛΟΠΟΙΗΣΗ ΠΥΡΙΤΙΟΥ
- 4) -ΨΥΞΗ INGOT

SQUARER

ΣΚΟΠΟΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

ΚΟΠΗ INGOT ΣΕ 25 BRICKS

Μετά από την κατάλληλη προετοιμασία του ingot φορτώνεται στο squarer ώστε να κοπεί σε μικρότερους κύβους(bricks). Η προετοιμασία περιλαμβάνει ξεκαλούπωμα του ingot, τοποθέτηση του πάνω σε μεταλλική πλάκα με τη βοήθεια γερανού(ingot hoist) και συγκράτηση του με ειδικό αφρό. Η κοπή γίνεται με την βοήθεια slurry.

Το slurry προετοιμάζεται σε ξεχωριστό σύστημα με ανάμειξη καρβιδίου του πυριτίου (σε μορφή σκόνης) και PEG (παχύρευστη μορφή) το slurry πρέπει να έχει συγκεκριμένη πυκνότητα και έχει διττό ρόλο. Χρησιμοποιείται επίσης για ψύξη κατά την διάρκεια της κοπής ώστε να μην σπάσει το σύρμα. Όταν ετοιμαστεί το slurry φορτώνεται σε κατάλληλη δεξαμενή η οποία συνδέεται σε κατάλληλη υποδοχή στο squarer. Μετά την κοπή έχουμε 25 bricks τα οποία σημαδεύονται με κατάλληλο γράμμα της λατινικής αλφαβήτου.



Εικόνα 4.7 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ INGOT ΣΤΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΒΑΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΩΜΑ ΣΤΟ ΠΡΙΟΝΙ



ΕΙΚΟΝΑ 4.8 ΞΕΦΟΡΤΩΜΑ BRICKS ΚΑΙ ΣΗΜΑΝΣΗ ΤΟΥΣ

Όταν ξεφορτωθεί το squarer το κομμένο ingot μεταφέρεται στο brick washing station, καθαρίζεται από υπολείμματα κοπής και slurry και αφαιρείται από την μεταλλική βάση σε αυτό το σημείο γίνεται και η σήμανση των bricks. Τα bricks τώρα είναι έτοιμα να μεταφερθούν για ποιοτικό έλεγχο.

QUALITY CONTROL

Σε αυτό το στάδιο ελέγχονται κρίσιμα χαρακτηριστικά για τα bricks προκειμένου να συνεχίσουν την παραγωγική διαδικασία ή να ανακυκλωθούν και να ξεκινήσουν πάλι από την αρχή πρώτος ελεγχος είναι ο έλεγχος της διάρκειας ζωής των φορέων πλειονότητας. (lifetime test). Σε αυτό το τεστ το brick φωτίζεται, οι φορείς διεγείρονται και στην συνέχεια ανασυνδιάζονται. Ο χρόνος διάρκειας ζωής είναι ο χρόνος μέχρι να γίνει ο ανασυνδιασμός.



ΕΙΚΟΝΑ 4.9 LIFETIME TESTER

Στο δεύτερο τεστ μετράμε την αντίσταση(resistivity) του Brick.

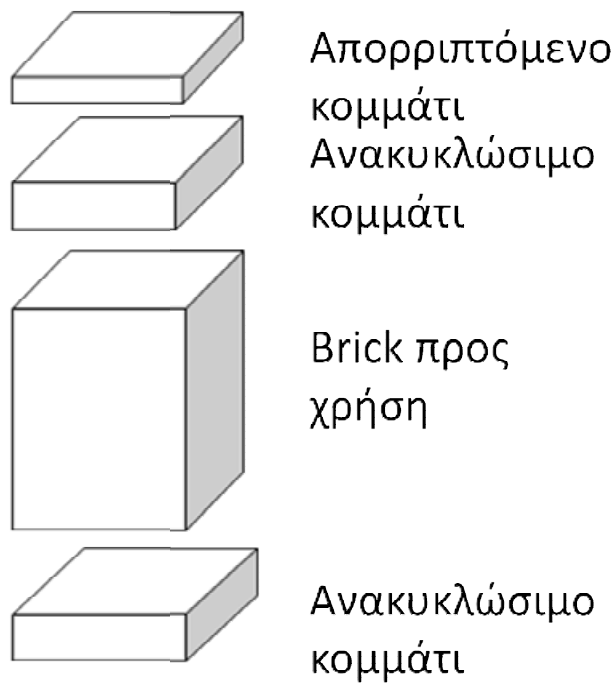


ΕΙΚΟΝΑ 4.10 RESISTIVITY TESTER

Στο τρίτο τεστ που πραγματοποιείται δειγματοληπτικά τα bricks εξετάζονται μέσω υπέρυθρων ακτίνων για εσωτερικά ελαττώματα, ρωγμές και σπασίματα (micro cracks).

CROPPING SAW

Μετά τον ποιοτικό έλεγχο και οσα bricks περάσουν τα αντίστοιχα όρια μεταφέρονται στο cropping saw προκειμένου να κοπεί το άνω και κάτω τμήμα τους(τρεις κοπές) και κάθε κομμάτι πλέον που δημιουργείται να ακολουθήσει διαφορετική διαδικασία.Η κοπή γίνεται με την βοήθεια οδοντωτού τροχού και νερού.



ΕΙΚΟΝΑ 4.11 ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΟΠΗΣ ΣΤΟ CROPPING SAW

Το πρώτο κομμάτι από το επάνω μέρος του brick απορρίπτεται λόγω των αυξημένων προσμίξεων του (δεν μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά στη συνέχεια της παραγωγικής διαδικασίας). Το δεύτερο κομμάτι από το επάνω μέρος του brick και το πρώτο από το κάτω μέρος του αν και έχουν αρκετές προσμίξεις μπορούν να ανακυκλωθούν και να ξαναχρησιμοποιηθούν. Το κομμάτι που απομένει συνεχίζει τη διαδικασία ώστε να σχηματιστεί το wafer.



ΕΙΚΟΝΑ 4.12 CROPPING SAW

BRICK POLISHER

Μετά το cropping saw τα bricks τοποθετούνται στο brick polisher. Εκεί τρίβονται οι τέσσερις πλευρές του brick στις επιθυμητές διαστάσεις προκειμένου να απομακρυνθούν υπολείμματα κοπής και από το squarer και το cropping saw. Επίσης οι ακμές των bricks στρογγυλεύονται και λειαίνονται. Σκοπός αυτής της διαδικασίας είναι η αποφυγή θραύσης των wafer στο wire saw.



ΣΚΟΠΟΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

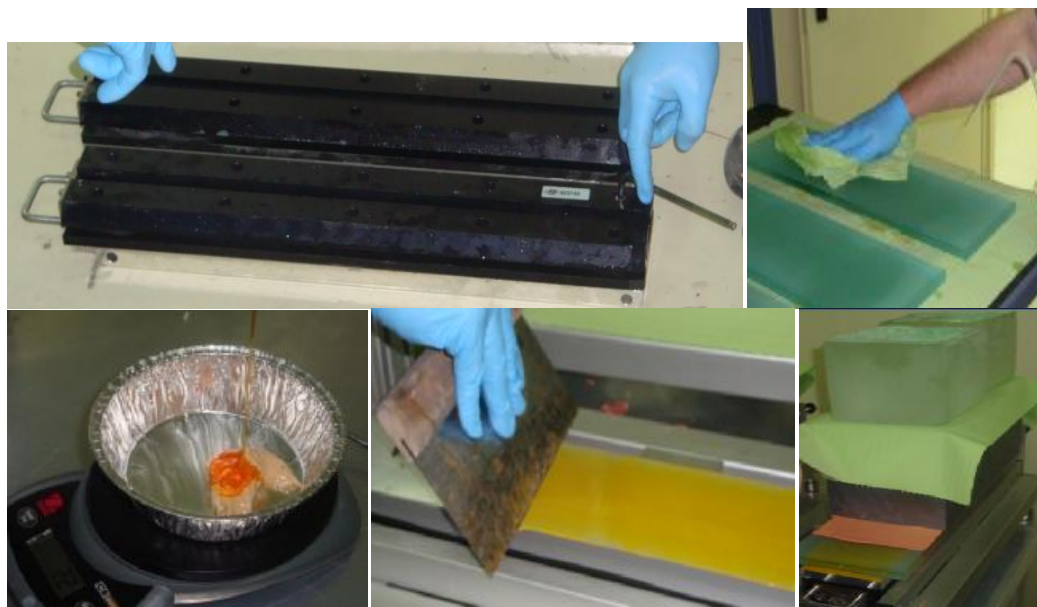
- 1) ΛΕΙΑΝΣΗ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΩΝ ΠΛΕΥΡΩΝ ΤΟΥ BRICK
- 2) ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΤΩΝ ΑΚΜΩΝ ΚΑΙ ΣΤΡΟΓΓΥΛΕΥΣΗ ΤΟΥΣ
- 3) ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΕΠΙΘΥΜΗΤΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ

ΕΙΚΟΝΑ 4.13 BRICK POLISHER

BRICK GLUING STATION

Τα bricks, προετοιμάζονται, (πλένονται) ώστε να είναι καθαρά και να κολλήσουν πάνω σε πλάκα γυαλιού. Πρώτα η πλάκα του γυαλιού κολλά πάνω σε μεταλλική βάση με κατάλληλες υποδοχές και αυλάκια που ταιριάζουν στις κατάλληλες θέσεις του πριονιού και μένει έτσι ικανό διάστημα ώστε να κολλήσει γερά. Στη συνέχεια απλώνεται στο γυαλί δεύτερη κόλλα εποξική και τοποθετούνται πάνω δυο bricks. Και οι δυο κόλλες προετοιμάζονται και με συγκεκριμένες αναλογίες προκειμένου να είναι ικανές να συγκρατήσουν το σύστημα αλλά ταυτόχρονα να έχουν και ελαστικότητα ώστε να μη σπάσει με τις καταπονήσεις της κοπής στο wire saw. Όταν

περάσει αρκετά μεγάλο διάστημα και κολλήσει και το brick πάνω στην πλάκα έχει ετοιμαστεί ένα beam έτοιμο για να φορτωθεί στο wire saw.



ΕΙΚΟΝΑ 4.13 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ BEAM

WIRE SAW

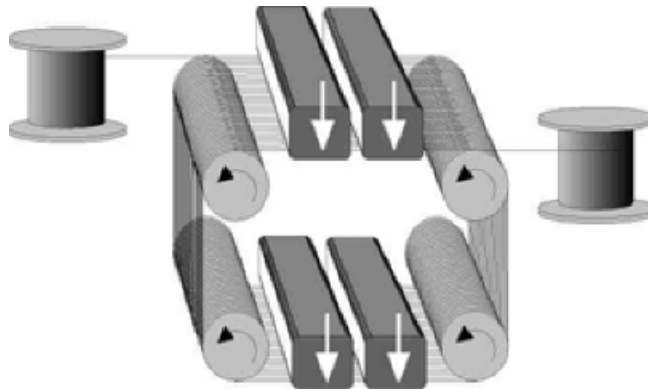
ΣΚΟΠΟΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

- 1) ΚΟΠΗ ΤΟΥ BEAM ΣΕ WAFERS
- 2) ΨΥΞΗ ΜΕ SLURRY

Όταν ετοιμαστούν τέσσερα beams τοποθετούνται στις τέσσερις υποδοχές του wire saw(δυο beams επάνω και δυο beams κάτω).Νωρίτερα το πριόνι έχει προετοιμαστεί περνώντας ειδικό σύρμα για την κοπή, μέσα στα τύμπανα που έχουν αυλάκια ανάλογα με το επιθυμητό πάχος κοπής(180-200 μm).Επίσης σε αυτή τη κοπή χρησιμοποιείται slurry,το οποίο έχει αυστηρά καθορισμένη πυκνότητα και χρησιμεύει όπως και πριν και για την ψύξη του συστήματος.



ΕΙΚΟΝΑ 4.14 WIRE SAW



ΕΙΚΟΝΑ 4.15 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΥΡΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΚΟΠΗ ΒΕΑΜΣ

ΣΚΟΠΟΣ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

- 1) ΑΠΟΚΟΛΗΣΗ ΤΩΝ WAFERS ΑΠΟ ΤΗ ΠΛΑΚΑ ΓΥΑΛΙΟΥ
- 2) ΑΠΟΚΟΛΗΣΗ WAFER ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΟΛΛΑ
- 3) ΚΑΘΑΡΙΣΜΑ WAFER ΑΠΟ SLURRY

Αφού ολοκληρωθεί η κοπή των beams στο wire saw, ξεφορτώνονται, τοποθετούνται σε ειδικές μεταλλικές θήκες (beam cages) και καταβυθίζονται προσωρινά μέσα σε τροχήλατες δεξαμενές με PEG ώστε να μην στεγνώσει το slurry πάνω στα wafers. Στη συνέχεια μεταφέρονται στα cleaners για να αποκολληθούν από το γυαλί και να καθαριστούν από το slurry. Η διαδικασία του καθαρισμού χωρίζεται σε δυο βασικά στάδια. Στην πρόπλυση και την κανονική πλύση (pre-cleaner και cleaner αντίστοιχα).

Στο pre-cleaner το beam πλένεται αρχικά στην πρώτη δεξαμενή με ζεστό απιονισμένο νερό με δυο τρόπους. Ψέκασμα και καταβύθιση. Αυτή η πρόπλυση είναι ένα πρώτο στάδιο καθαρισμού προκειμένου να φύγουν οι μεγαλύτερες ποσότητες slurry από το beam. Στη δεύτερη δεξαμενή που περιέχει οξικό οξύ επιτυγχάνεται η αποκόλληση των wafers από το γυαλί και από την κόλλα που έχει στερεοποιηθεί. Φυσικά και σε αυτό το στάδιο γίνεται καθαρισμός και αφαιρούνται και ποσότητες slurry. Όταν αποκολληθούν πλήρως τα wafers από το γυαλί, το beam cage ξεφορτώνεται και καταβυθίζεται σε ξεχωριστή δεξαμενή με νερό και αφαιρείται το επάνω μέρος του. Παραμένει η βάση του μαζί με τα wafers τα οποία φορτώνονται χειροκίνητα ένα προς ένα μέσα στο νερό σε πλαστικές θήκες (carriers). Όταν ολοκληρωθεί το φόρτωμα δυο carriers τοποθετούνται σε μεταλλικό cage και φορτώνονται εκ νέου στην Τρίτη δεξαμενή του pre – cleaner που περιέχει ζεστό απιονισμένο νερό και επιτυγχάνεται καθαρισμός με τη βοήθεια υπερήχων. Όταν ολοκληρωθεί το στάδιο αυτό το cage έχει τελειώσει τη διαδικασία του pre – cleaner και είναι έτοιμο να ξεκινήσει τη διαδικασία καθαρισμού στο cleaner.

Το cleaner αποτελείται από πέντε δεξαμενές εκ των οποίων οι δύο (πρώτη και Τρίτη) περιέχουν απορρυπαντικό και ζεστό απιονισμένο νερό και οι υπόλοιπες μόνο ζεστό νερό. Η Πέμπτη και τελευταία δεξαμενή έχει και σύστημα ψεκασμού αέρα, προκειμένου να αφαιρεθεί η μεγαλύτερη ποσότητα νερού. Και στις πέντε δεξαμενές υπάρχει η δυνατότητα χρήσης υπερήχων για καλύτερο καθαρισμό. Οι υπέρηχοι χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση και ανάλογα με την ποσότητα του slurry που έχει παραμείνει στα wafers σε μια, δυο ή και σε όλες τις δεξαμενές. Στο τέλος υπάρχουν δυο θάλαμοι με ζεστό αέρα που έχουν σαν σκοπό να στεγνώσουν τα wafers μαζί με τις θήκες τους. Πλέον τα wafers είναι έτοιμα να προχωρήσουν στην

επόμενη κατά σειρά γραμμή προκειμένου να υποστούν κατάλληλη χημική επεξεργασία και να πάρουμε τελικά τα φωτοβολταϊκά κελιά.



EIKONA 4.16 WAFER PRE-CLEANER



EIKONA 4.17 WAFER CLEANER

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5



5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

5.2 ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

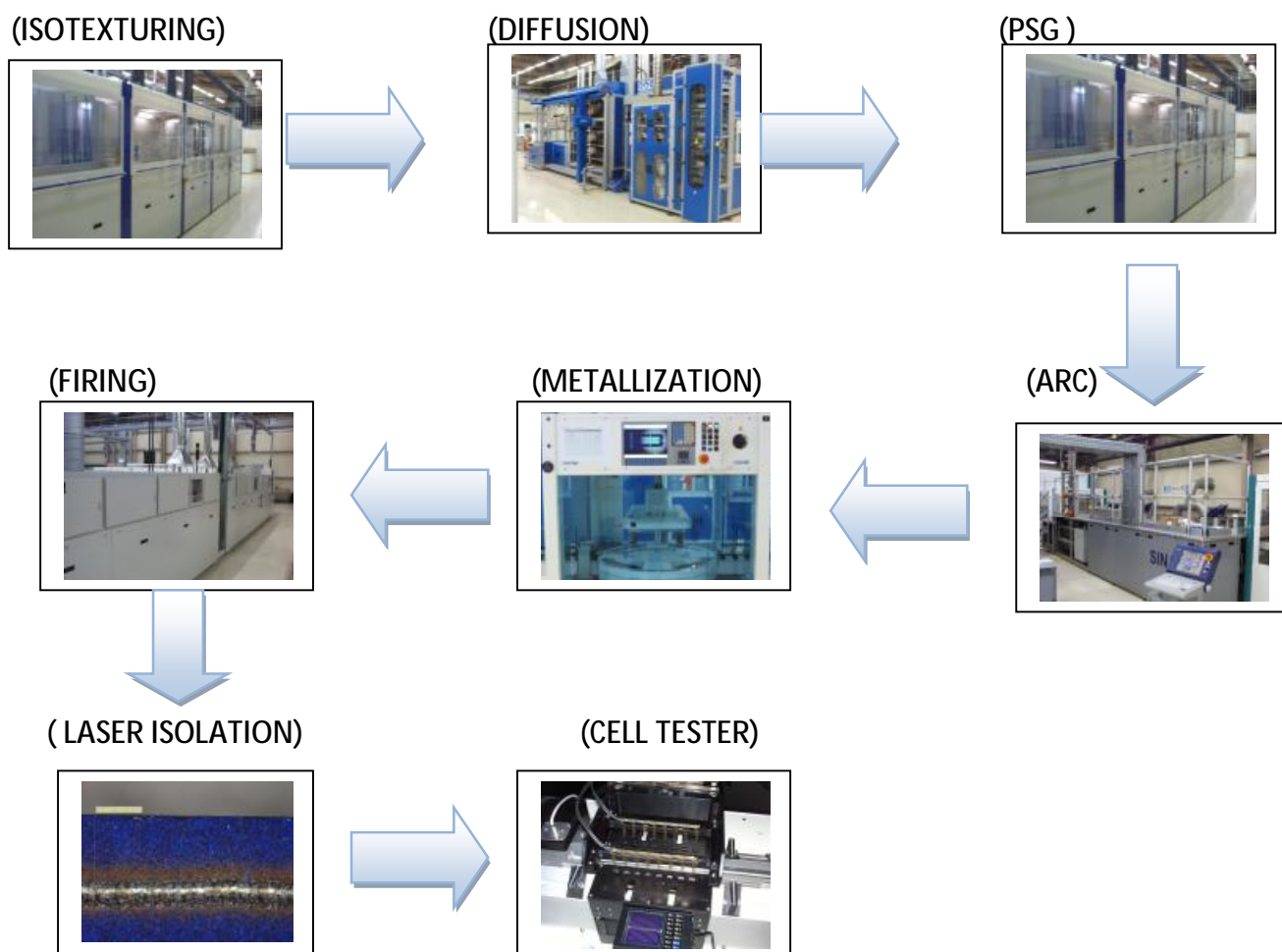
5.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ

5.1 ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στη γραμμή παραγωγής του cell θα μελετήσουμε τη διαδικασία χημικής επεξεργασίας του wafer έτσι ώστε να δημιουργήσουμε μια στοιχειώδη μονάδα η οποία θα μπορεί να παράγει ισχύ.

5.2 ΣΤΑΔΙΑ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Στο (σχήμα 1) παρακάτω απεικονίζεται η παραγωγική διαδικασία ενός cell.



(ΣΧΗΜΑ 5.1)

Στο πρώτο στάδιο παραγωγής στο isotexturing το wafer υποβάλλεται σε μια υγρή χημική κατεργασία με διαλύματα HF ΚΑΙ HNO₃ έτσι ώστε να χαραχτεί με οξύ η επιφάνεια τους. Αυτό γίνεται για να αφαιρεθεί η ζημία από το πριόνισμα την λείανση αυτή μειώνεται η ανάκλαση της επιφάνειας, αυξάνεται ο αριθμός των φωτονίων που εισέρχεται στον αγωγό και αυξάνεται το ρεύμα που δημιουργείται. Επίσης αυξάνει και την αποτελεσματική επιφάνεια των wafers που εκτίθεται στην ηλιακή ακτινοβολία. Στο δεύτερο στάδιο στο diffusion το wafer διαχέεται από φώσφορο και το φορτίζουμε αρνητικά καθώς επίσης διαμορφώνεται και η ομοιομορφία του. Στο τρίτο στάδιο στο PSG το wafer καθαρίζεται από τους κρυστάλλους που έχουν δημιουργηθεί από το προηγούμενο στάδιο. Στο τέταρτο στάδιο τη παραγωγικής διαδικασίας όπου το wafer περνά από το PECVD εισάγεται η μπλε επιστρώση του με αποτέλεσμα να μειώνεται η αντανάκλαση του από 25%-0.7%. Στη συνέχεια στο επόμενο στάδιο περνά στο μηχάνημα της BACCINI όπου εκεί στο wafer γίνεται η εκτύπωση των κυκλωμάτων του. Έπειτα οδηγείται στο επόμενο στάδιο όπου και περνά μέσα από το μηχάνημα της DESPATCH έτσι ώστε να βυθιστούν τα κυκλώματα μέσα στο wafer κάτω από κατάλληλες θερμοκρασίες. Στη συνέχεια κόβεται το κύκλωμα ώστε να μην δημιουργηθεί βραχυκύκλωμα. Αυτό γίνεται μέσω του μηχανήματος του LASER. Τέλος μέσα από τον CELL TESTER μετριέται η απόδοση και τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του cell και αφού μετρηθούν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του τότε πακετάρεται ανάλογα με τη ισχύ που βγάζει. Η διαδικασία πακεταρίσματος αποτελεί και το τελευταίο στάδιο της γραμμής παραγωγής του cell.

5.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ

Στη προηγούμενη παράγραφο έγινε μια περιγραφή της γραμμής παραγωγής του cell. Σε αυτή τη παράγραφο γίνεται μια ανάλυση των μηχανημάτων και πως μέσα από αυτά γίνεται αναλυτικά η επεξεργασία του wafer μετατρέποντας το σε Cell.

5.3.1 (ISOTEXTURING)



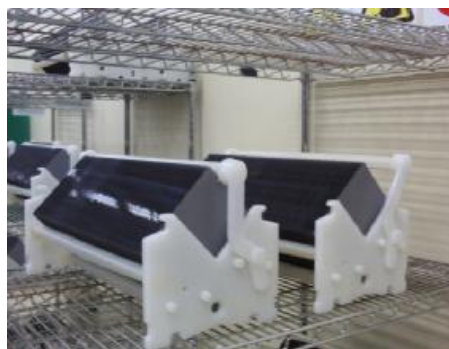
ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

- 1) ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙ ΤΗΝ ΤΡΑΧΕΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ WAFER ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΧΗΜΙΚΩΝ
- 2) ΦΟΡΤΙΖΕΤΑΙ ΤΟ WAFER ΘΕΤΙΚΑ

ΕΙΚΟΝΑ 5.2 ISOTEXTURING

Στο στάδιο αυτό όπου και αποτελεί την έναρξη της παραγωγικής διαδικασίας επιτυγχάνεται η επιτράχυνση της επιφάνειας του wafer με σκοπό την απορρόφηση μεγαλύτερου ποσοστού προσπίπτουσας ακτινοβολίας καθώς επίσης και μείωση της αντανακλαστικότητας του. Επίσης επιτυγχάνεται αύξηση της ενεργής επιφάνειας του wafer με σκοπό την αύξηση της αποδιδόμενης ηλεκτρικής ισχύος και τέλος γίνεται μια απομάκρυνση της φθοράς που έχει προκληθεί από την κοπή των wafer από τα πριόνια. Όλη αυτή η διαδικασία επιτυγχάνεται με διάλυμα χημικών όπως το υδροφθώριο (HF), το νιτρικό οξύ (HNO₃) και καυστικό κάλιο (KOH). Επίσης χρησιμοποιείται απιονισμένο νερό. Τέλος το μηχάνημα αυτό αποτελείται από 13 σταθμούς. Ας δούμε λοιπόν την έναρξη της παραγωγικής διαδικασίας καθώς και την λειτουργία των σταθμών ξεχωριστά.

Τα wafer έρχονται στοιβαγμένα σε ειδικά κουτιά στοιβαξέως, τα οποία θα πρέπει στη συνέχεια να τοποθετηθούν πάνω σε ειδικές θήκες μεταφοράς (carrier), τα οποία έχουν χωρητικότητα 100 δισκίων wafer το καθένα (εικόνα 1).



ΕΙΚΟΝΑ 5.3 CARRIERS

Αφού τοποθετηθούν τα wafer μέσα στα carrier τότε τοποθετούνται στον πρώτο σταθμό του μηχανήματος όπου εκεί 2 carrier τοποθετούνται πάνω στον ιμάντα μεταφοράς ο οποίος αποτελεί τη είσοδο του μηχανήματος. Στο ιμάντα αυτόν τα carriers ζυγίζονται έτσι ώστε να μπορεί να υπολογιστεί το βάρος του wafer πριν εισέρθει στο μηχάνημα και αφού εξέλθει έτσι ώστε να μπορεί να

υπολογιστεί η ποσότητα πυριτίου που αφαιρέθηκε. Στην συνέχεια τα carriers εισέρχονται στο δεύτερο σταθμό όπου εκεί βυθίζονται σε μια δεξαμενή η οποία περιέχει υδροφθώριο και νιτρικό οξύ. Εδώ γίνεται η διαμόρφωση της επιφάνειας των wafer. Μετά τον σταθμό αυτό τα carriers μεταφέρονται στον επόμενο σταθμό όπου βυθίζονται σε μια δεξαμενή με απιονισμένο νερό έχοντας σαν σκοπό να απομακρυνθούν τα χημικά από τον προηγούμενο σταθμό.

Έπειτα τα carriers οδηγούνται στον επόμενο σταθμό όπου περιέχει καυστικό κάλιο και απιονισμένο νερό. Στο σταθμό αυτό γίνεται εξουδετέρωση των οξειδίων που έχουν δημιουργηθεί από τον δεύτερο σταθμό. Στη συνέχεια μεταφέρονται πάλι σε έναν σταθμό όπου περιέχει απιονισμένο νερό έτσι ώστε να ξεπλυθούν για ακόμη μια φορά από τα χημικά του προηγούμενου σταθμού. Έπειτα πηγαίνουν στον έβδομο σταθμό όπου εδώ απομακρύνονται τα μεταλλικά ιόντα που έχει αποκτήσει το wafer από προηγούμενους σταθμούς. Με την ολοκλήρωση και αυτού του σταθμού τα carriers μεταφέρονται πάλι σε ένα σταθμό που περιέχει απιονισμένο νερό για να ξεπλυθούν.

Τέλος τα carriers μεταφέρονται στον σταθμό ο οποίος περιέχει ζεστό απιονισμένο νερό έχοντας σαν σκοπό τη ξήρανση των wafer. Μετα και τον σταθμό αυτό μεταφέρονται στον επόμενο όπου αποτελεί τη γέφυρα με τους 2 επόμενους σταθμούς όπου τα wafer στεγνώνουν με θερμό αέρα και γίνεται η ομογενή επεξεργασία τους. Έπειτα εισέρχονται στον σταθμό για να ζυγιστούν έτσι ώστε να υπολογιστεί η ποσότητα του πυριτίου που απομακρύνθηκε. Αφού ζυγιστούν εισέρχονται στον τελευταίο σταθμό του μηχανήματος όπου μέσω ενός ταινιόδρομου οδηγούνται έξω του μηχανήματος και η διεργασία ολοκληρώνεται.

(DIFFUSION)



ΕΙΚΟΝΑ 5.4 DIFFUSION

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

- 1) ΔΙΑΧΕΕΤΑΙ ΣΤΟ WAFER
ΦΩΣΦΟΡΟ
- 2) ΦΟΡΤΙΖΕΤΑΙ ΑΡΝΗΤΙΚΑ
- 3) ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙΤΑΙ
ΟΜΟΙΟΜΟΡΦΙΑ ΤΟΥ WAFER

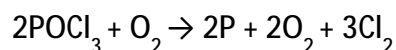


EIKONA 5.5 DIFFUSION

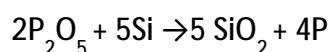
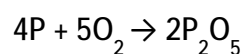
Στο στάδιο αυτό της παραγωγής το wafer διαχέεται με φώσφορο και φορτίζεται αρνητικά. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται n-layer. Η διεργασία diffusion πραγματοποιείται σε χαμηλή πίεση. Βασισμένη στη διαδικασία δημιουργίας γυαλιού από φώσφορο πάνω στο πυρίτιο εκμεταλλεύεται το πλεονέκτημα της χαμηλής πίεσης, η οποία αυξάνει την ταχύτητα των αερίων και δίνει πολύ καλύτερη ομοιομορφία στην επιφάνεια του wafer αλλά και από wafer σε wafer.

Ο έλεγχος της πίεσης πραγματοποιείται ελέγχοντας τη ροή του αζώτου. Έτσι μόνο αέρια διεργασίας είναι παρόντα στο θάλαμο. Πλεονάζοντα αέρια εκτονώνονται έχοντας σαν αποτέλεσμα να μην υπάρχει συμπύκνωση του φωσφορικού οξέος. Η διεργασία αυτή λαμβάνει χώρα σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Η πηγή του φωσφόρου είναι το τριχλωροξείδιο του φωσφόρου (POCl₃). Αυτό το οξύ υγρό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος περιέχεται μέσα σε ένα bubbler. Ένα αέριο-φορέας χρησιμοποιείται για να μεταφέρει το POCl₃ μέσα στο θάλαμο κατά τη διάρκεια της διεργασίας. Μέσα στο θάλαμο το αντιδρών POCl₃ αναμιγνύεται με οξυγόνο για να εναποτεθεί πάνω στο πυρίτιο ένα λεπτό στρώμα από φωσφορούχο πυριτιακό γυαλί από το οποίο ο φώσφορος διαχέεται μέσα στο πυρίτιο.

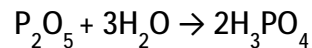
Μέσα στο θάλαμο το πυρίτιο αντιδρά με οξυγόνο σύμφωνα με την ακόλουθη αντίδραση:



Δυο βήματα χρειάζονται γι'αυτην την αντίδραση



Ανάλογα με τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα πραγματοποιείται η ακόλουθη αντίδραση:



5.3.3(PSG REMOVAL)



ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

ΓΙΝΕΤΑΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ WAFER
ΑΠΟ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΥΣ .

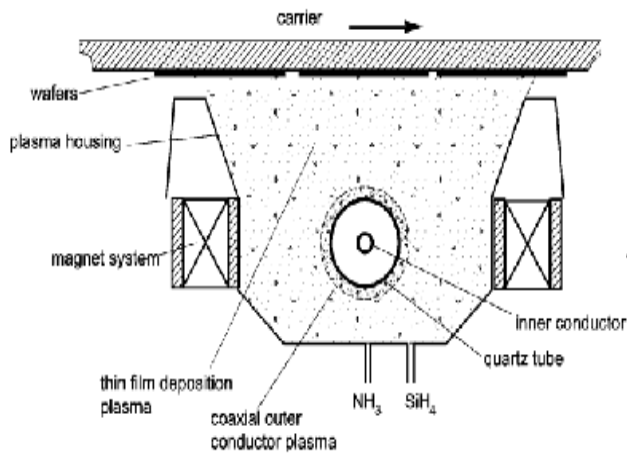
ΕΙΚΟΝΑ 5.6 PSG

Ο σκοπός του μηχανήματος έγκειται στην απομάκρυνση των οξειδίων πυριτίου και φωσφόρου καθώς επίσης και η πλύση και στέγνωμα δισκίων πυριτίου για την παραγωγή ηλιακών κυτάρων. Έτσι η διαδικασία έχει ως εξής: Δυο carriers που όπως αναφέραμε παραπάνω μεταφέρει 100 δισκία πυριτίου τοποθετούνται στο ιμάντα εισαγωγής της εγκατάστασης. Αφού εισέρθουν στο μηχάνημα μέσα από μια διαδικασία ενός συστήματος δοσολόγησης εισάγονται ακριβή δοσολογή χημικά στο πυρίτιο. Με το πέρας της διαδικασίας δοσολόγησης τα carriers μεταφέρονται σε ένα ιμάντα εξαγωγής έτοιμα για το επόμενο στάδιο.

5.3.4 ANTI-REFLECTIVE(ARC)

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

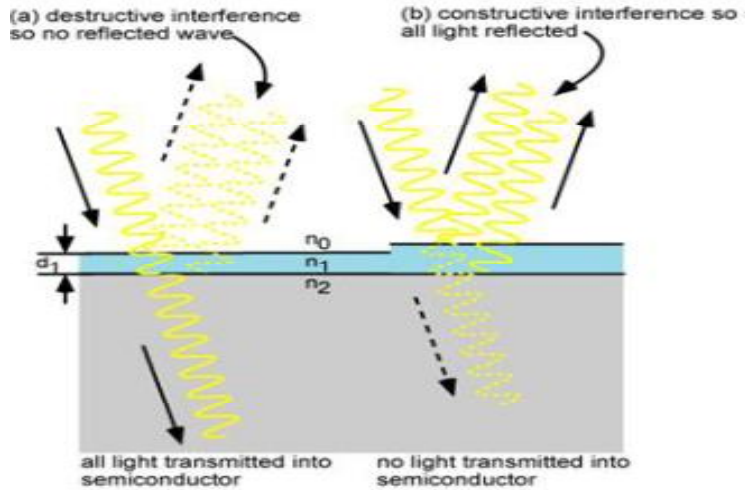
ΓΙΝΕΤΑΙ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΤΗΣ ΜΠΛΕ
ΕΠΙΣΤΡΩΣΗΣ ΣΤΟ WAFER



ΕΙΚΟΝΑ 5.7 ARC

Είναι ένα μηχάνημα τριών θαλάμων με αυτόματη φόρτωση και εκφόρτωση παλετών. Η ακολουθία είναι η εξής: **ΦΟΡΤΩΣΗ-ΘΑΛΑΜΟΣ ΦΟΡΤΩΣΗΣ/ΠΡΟΘΕΡΜΑΝΣΗ-ΘΑΛΑΜΟΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ-ΘΑΛΑΜΟΣ ΕΚΦΟΡΤΩΣΗΣ-ΕΚΦΟΡΤΩΣΗ.** Η προθέρμανση γίνεται με υπέρυθρες λάμπες και η εναπόθεση γίνεται με ροή SiH_4/NH_3 και 4 πηγές πλάσματος μικροκυμάτων. Ο σταθμός φόρτωσης μετακινεί τα wafers και τα τοποθετεί σε μια ανθρακονηματινή παλέτα για μεταφορά και διεργασία AR. Οι θερμαντήρες υπέρυθρων στο σταθμό προθέρμανσης θερμαίνουν τα wafer γύρω στους 400 °C. Οι παλέτες με τα ανθρακονηματα συγκρατούν οριζόντια τα wafers ώστε μόνο τα μικρά σημεία στα άκρα των wafers να αγγίζουν την παλέτα πλευρά του wafer που είναι προς τα κάτω είναι αυτή που θα επιστρωθεί με SiN_x . Τα wafers ξεφορτώνονται αυτόματα μέσα στα stack boxes από την παλέτα ανθρακονημάτων. Το σύστημα εκφόρτωσης ξεφορτώνει ένα wafer την φορά.





ΕΙΚΟΝΑ 5.8 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΠΡΟΣΠΙΠΤΟΥΣΑΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΑΧΟΣ ΑΝΤΙΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΥ ΕΠΙΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

5.3.5 METALLIZATION

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

ΓΙΝΕΤΑΙ Η ΕΚΤΥΠΩΣΗ ΤΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ ΠΑΝΩ ΣΤΟ WAFER

Έννοιες μηχανήματος

Boxes: κουτιά που τοποθετούνται τα Wafer

Nest: βρίσκονται πάνω στο Rotation table και πάνω σε αυτά τοποθετούνται τα wafer συγκρατούν τα wafer με αέρα έτσι ώστε όταν τυπωθεί η πάστα σε αυτά πάνω να μην φύγει.

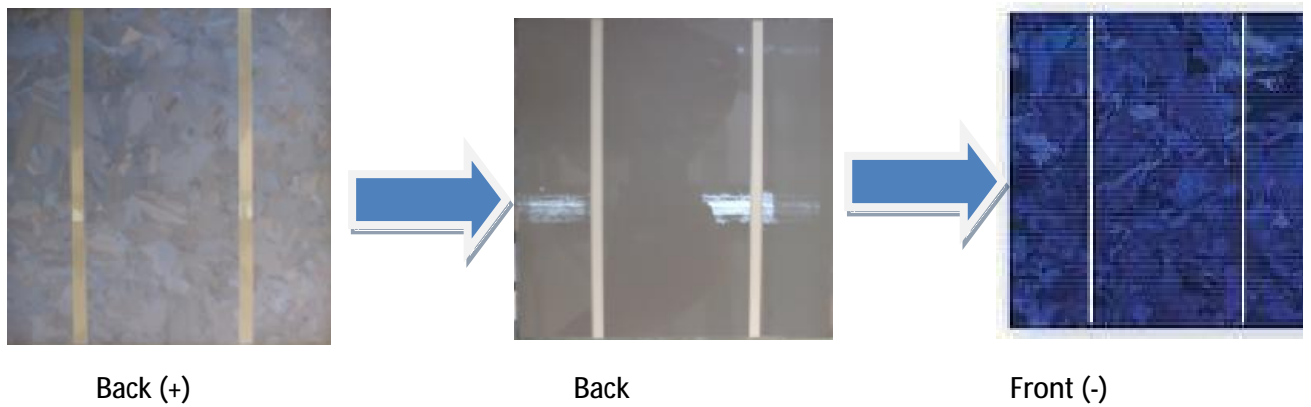
WB: κινούμενος άξονας

SCREEN: πιάτο τύπωσης

REAR BUSBARS: λωρίδες στην πίσω επιφάνεια διαδρομής ρεύματος

FRONT BUSBARS: λωρίδες στην μπροστινή επιφάνεια διαδρομής ρεύματος

FINGERS: οι γραμμές πλέγματος που τυπώνονται από το screen στην μπροστά επιφάνεια του wafer και απαρτίζουν μαζί με τα μπροστά busbar το κύκλωμα διαδρομής ρεύματος.



Τα βήματα λειτουργίας είναι τα εξής:

Φόρτωση των boxes-διαχωρισμός των wafers-είσοδος του wafer και εναπόθεση σε κάθε nest-επίστρωση με πάστα ασημιού-αλουμινίου-ξήρανση-επιστρωση με πάστα αλουμινίου-ξήρανση-επιστρωση με πάστα ασημιού-εκφορτώση των wafers.

Τα κουτιά χωρητικότητας 100 wafer τοποθετούνται στον μάντα μεταφοράς της μηχανής φόρτωσης. Σταματούν στην ειδική θέση όπου τα wafer ανυψώνονται και διαχωρίζονται ένα ένα.Ο ειδικός βραχίονας λαμβάνει ένα wafer με αναρρόφηση αέρα κάθε φορά και το τοποθετεί πάνω στο WB.



Το wafer εισέρχεται στον printer 1 και ελέγχεται από την κάμερα 1 η οποία προσαρμόζει το screen ανάλογα με την θέση του wafer στο nest και ελέγχει για τυχόν σπασίματα ,οπές και ρωγμές.Το rotation table περιστρέφεται και οι κάμερες προσαρμόζουν την ακριβή θέση του screen πάνω στο wafer.Επιστρώνεται με πάστα ασημιού-αλουμινίουΤο rotation table περιστρέφεται και μέσω μιας άλλης κάμερας ελέγχεται η ακριβής θέση εξόδου του wafer καθώς επίσης και τυχόν ραγίσματα και σπασίματα. Μέσω του WB το wafer μεταφέρεται στο φούρνο για να ακολουθήσει η διαδικασία ξήρανσης της πάστας.

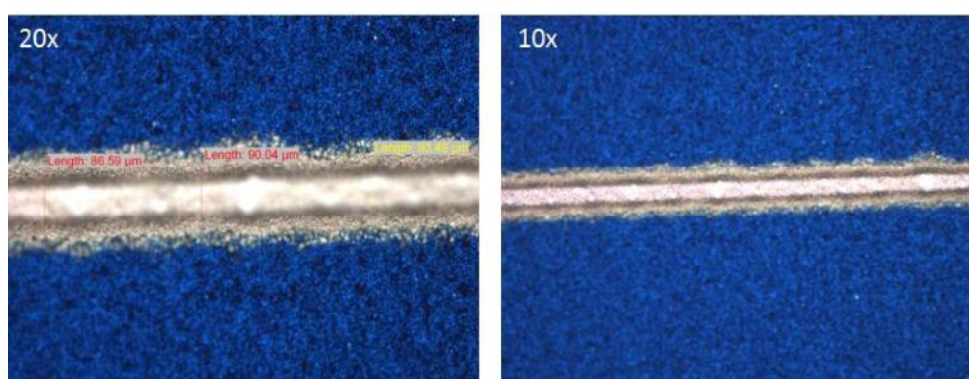
Μετά από ένα προκαθορισμένο χρόνο και ύστερα από αποτελέσματα ποιοτικού ελέγχου τα wafers εξέρχονται από το φούρνο και εισέρχονται στον printer 2 όπου εκεί θα ακολουθήσει η διαδικασία επίστρωσης με πάστα αλουμινίου .Η εισαγωγή της πάστας πάνω στο screen



γίνεται με την χρήση του dispenser.Η διαδικασία ελέγχεται πάλι με την βοήθεια των καμερών όπως και στον item 1.Στη συνέχεια τα wafers εξέρχονται και

κατευθύνονται μέσω του WB στο δεύτερο φούρνο για να ακολουθήσει η διαδικασία ξήρανσης της πάστας του αλουμινίου. Στη συνέχεια και μετά από προκαθορισμένο χρόνο και ποιοτικού ελέγχου πάλι τα wafers εξέρχονται από το φούρνο και αφού περιστραφούν στην πλευρά της αντανακλαστικής επιφάνειας μέσω της συσκευής FO εισέρχονται στον printer 3.

Στον printer 3 ακολουθεί η διαδικασία επίστρωσης με πάστα ασημιού. Η διαδικασία ελέγχεται πάλι με βοήθεια καμερών όπως και στα προηγούμενα. Τα wafers εξέρχονται και μέσω ενός ρομποτικού βραχίονα τοποθετούνται πάνω στο ταινιόδρομο του DESPATCH. Το πρώτο wafer που θα βγει από την προηγούμενη διαδικασία υποβάλλεται σε έναν ποιοτικό έλεγχο έτσι ώστε να διαπιστωθεί η σωστή ευθυγράμμιση των rear busbars, των front busbars και των fingers με την κάτω και την πάνω επιφάνεια του wafer αντίστοιχα.



ΕΙΚΟΝΑ 5.9 ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ

5.3.6 FIRING(ΘΕΡΜΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ)

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

ΒΥΘΙΖΟΝΤΑΙ ΣΤΟ WAFER ΜΕ
ΚΑΤΑΛΛΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΤΑ
ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Η βασική διαδικασία είναι η αυτόματη φόρτωση των wafers από τον προηγούμενο σταθμό στον ταινιόδρομο του firing και η μεταφορά αυτών μέσα από τα διάφορα στάδια της θερμικής επεξεργασίας. Στο πρώτο τμήμα (drying furnace) στεγνώνουν οι πάστες με ταυτόχρονη αφαίρεση των οργανικών ενώσεων (VOC).

Στο δεύτερο στάδιο (Firing furnace) με την υψηλή θερμοκρασία γίνεται διάχυση των μετάλλων (αλουμινίου και ασημιού) μέσα στα wafers. Μετά την διαδικασία διάχυσης των μετάλλων γίνεται απότομη ψύξη και στη συνέχεια τα wafers παραλαμβάνονται από το σύστημα unloader για τις υπόλοιπες διεργασίες.



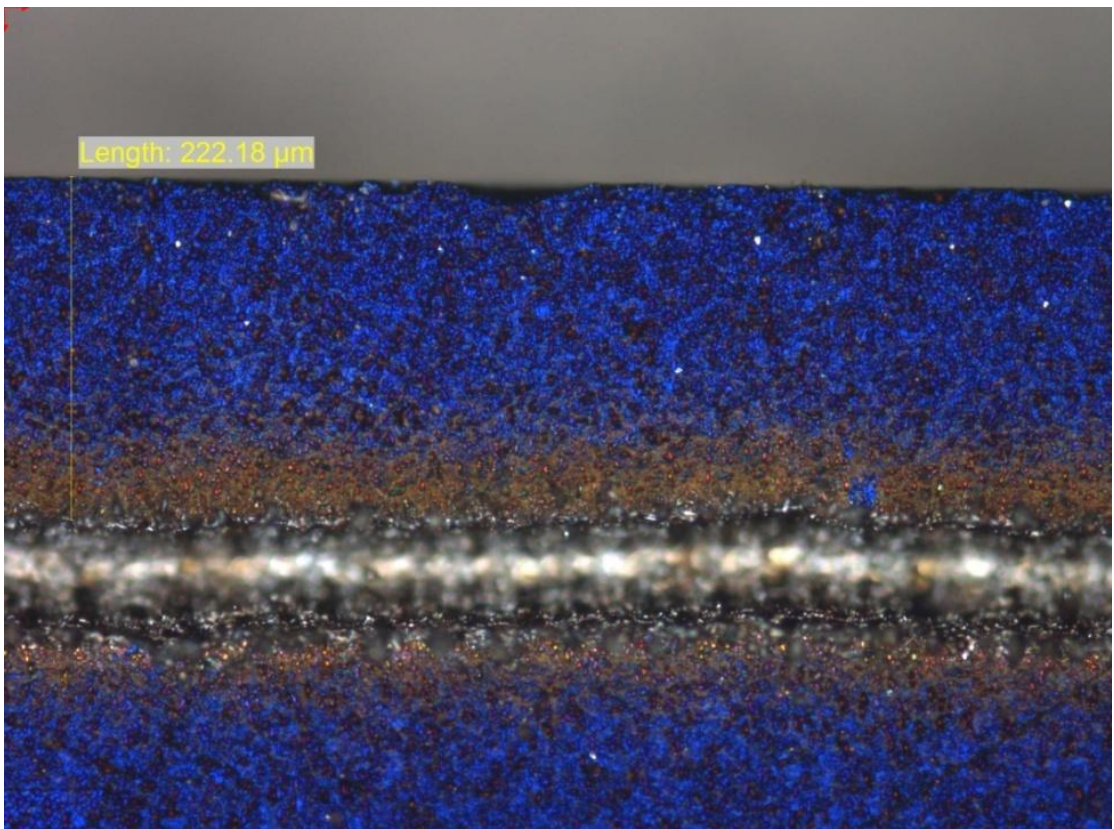
ΕΙΚΟΝΑ 5. FIRING

5.3.7 LASER EDGE ISOLATION

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

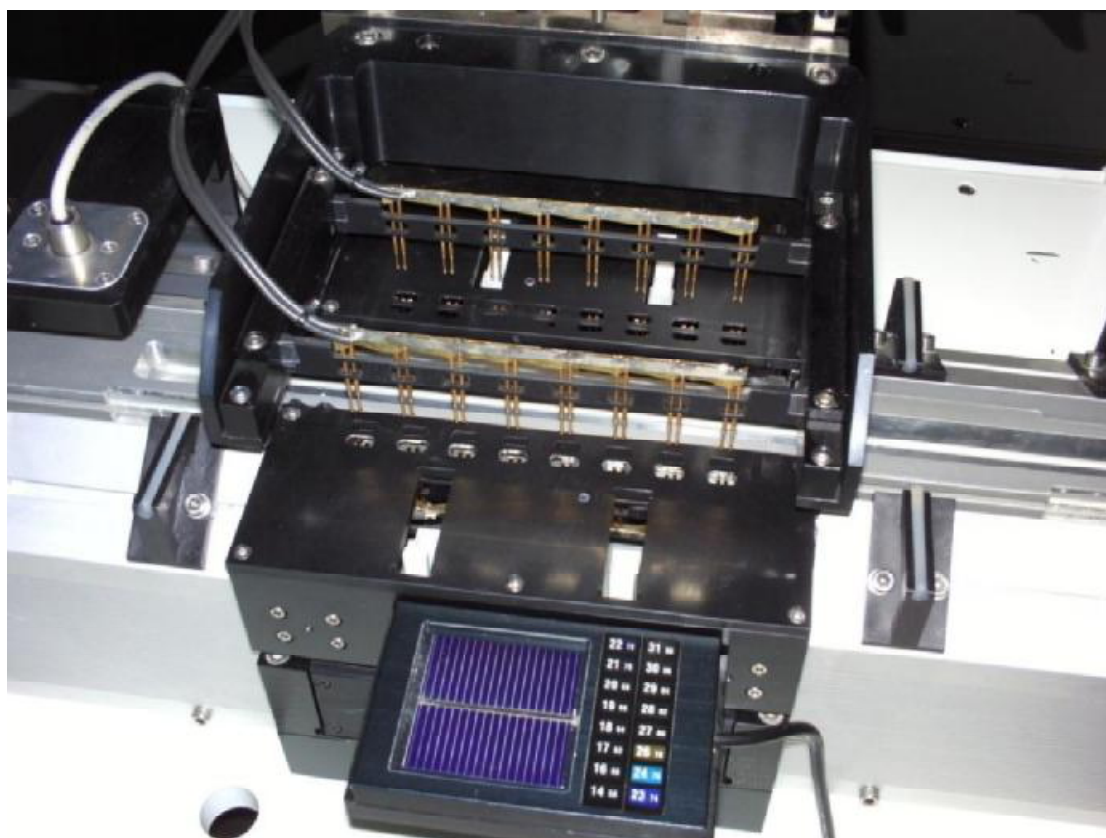
ΚΟΠΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΑΠΟΦΥΓΗ ΒΡΑΧΥΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Το μηχάνημα laser isolation χρησιμοποιείται για την ηλεκτρική απομόνωση των αγώγιμων περιοχών των cell. Τα cells εισέρχονται στο Laser μέσω ενός κινούμενου άξονα walking beam. Στη συνέχεια τοποθετούνται διαδοχικά στα δυο τραπέζια εργασίας του Laser μέσω τεσσάρων pick up (δυο για κάθε τραπέζι). Στη συνέχεια και με την βοήθεια δυο καμερών οι οποίες ανιχνεύουν τα Cells και την επιφάνεια κοπής το laser πραγματοποιεί την κοπή. Τα pick up τοποθετούν πάλι τα cells μετά την κοπή στο walking beam και εξέρχονται από τον laser isolation. Μετά το κόψιμο το wafer μετατρέπεται σε κυψέλη.

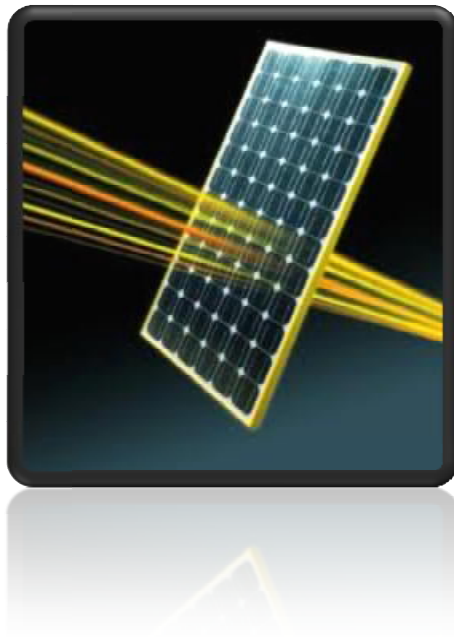


Το μηχάνημα tester αποτελείται από ένα σύστημα μεταφοράς και εισόδου cells στον tester το walking beam. Στον tester γίνεται μέτρηση των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των cells κάτω από ορισμένες πρότυπες συνθήκες οι οποίες είναι μάζα αέρα 1.5, ακτινοβολίας 1000W/m² και θερμοκρασία κελίου 25 °C.

Η μέτρηση των χαρακτηριστικών των Cells γίνεται πάνω σε μεταλλικές ακίδες (probes), οι οποίες εφάπτονται στα busbar των Cells. Για την ηλιακή προσομοίωση χρησιμοποιείται λαμπτήρας ιονισμού (xenon) ο οποίος τροφοδοτείται από γεννήτρια παλμών. Τα δεδομένα χαρακτηριστικά των cells καταγράφονται στον υπολογιστή μέσω ενός πολυμετρου των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών αυτών. Στη συνέχεια και αφού μετρηθούν τα cells ανάλογα με τη ισχύ που αποδίδουν ταξινομούνται από δυο pick up. Η εναπόθεση τους γίνεται πάνω στα Bins του Tester.



ΕΙΚΟΝΑ 5. TESTER



6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

6.2 ΥΛΙΚΑ MODYLE

6.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ-ΣΤΑΔΙΑ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

6.4 ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

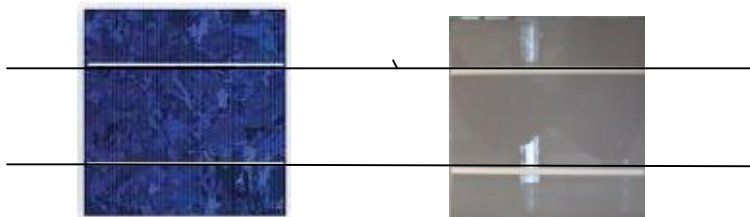
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη γραμμή παραγωγής της module θα μελετήσουμε και θα αναπτύξουμε την διαδικασία παραγωγής του τελικού προϊόντος δηλαδή το panel. Στη module line γίνεται συνδυασμός πολλών cell μαζί έτσι ώστε να φτιάξουμε ένα panel το οποίο θα έχει μεγαλύτερη ισχύ.

Κάθε module που παράγεται θα μπορεί να έχει ονομαστική ισχύ από 195-240 watts ανάλογα με την ποιότητα και την ισχύ των cells αλλά και την ποιότητα των συνδέσεων που γίνεται κατά τη διαδικασία παραγωγής. Η παραγόμενη ισχύς αναφέρεται σε συνθήκες όπου το module φωτίζεται με ηλιακή ακτινοβολία ισχύος 1000 watt ανά τετραγωνικό μέτρο. Προφανώς σε οποιοδήποτε άλλες συνθήκες ακτινοβολίας το module παράγει ισχύ διαφορετική της ονομαστικής του. Έτσι κατά την διάρκεια της ημέρας ένα module παράγει μεταβαλλόμενη ισχύ που εξαρτάται από την ώρα, τις καιρικές συνθήκες ή τις τυχόν σκιάσεις από άλλους παράγοντες.

Τα cell που χρησιμοποιούμε είναι πολυκρυσταλλικού πυριτίου, το κάθε cell δίνει ισχύ από 3.6-3.8 watt σε ονομαστικές συνθήκες ακτινοβολίας. Σε ένα module χρησιμοποιούνται 60 cell σε σειρά. Αυτό γίνεται δημιουργώντας 6 strings. Το κάθε string αποτελείται από 10 cells σε σειρά τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με λεπτά σύρματα πλάτους 2 χιλιοστών που ονομάζονται tab ribbons και όπως θα δούμε παρακάτω η μπροστά επιφάνεια ενός cell συνδέεται με την πίσω επιφάνεια του επόμενου, αυτό γίνεται για να έχουμε συνδεσμολογία σε σειρά των cell. Τα strings συνδέονται μεταξύ τους σε σειρά με σύρματα που κόβονται και κολλιούνται με τα bus ribbons και έχουν πλάτος 5 χιλιοστά.

Έστω ότι έχουμε τρεις μπαταρίες του 1.5 volt η καθεμία. Αν θέλουμε να τις βάλουμε σε σειρά τότε πρέπει να συνδέσουμε τον θετικό πόλο της μιας με τον αρνητικό πόλο της άλλης έτσι ώστε στην έξοδο να έχουμε $3 \times 1.5 = 4.5$ volt. Κατι παρόμοιο γίνεται και με τα cells όπου για να βάλουμε και τα 60 cells στη σειρά συνδέουμε την πάνω μπλε επιφάνεια του ενός με την κάτω γκριζα επιφάνεια του επόμενου.

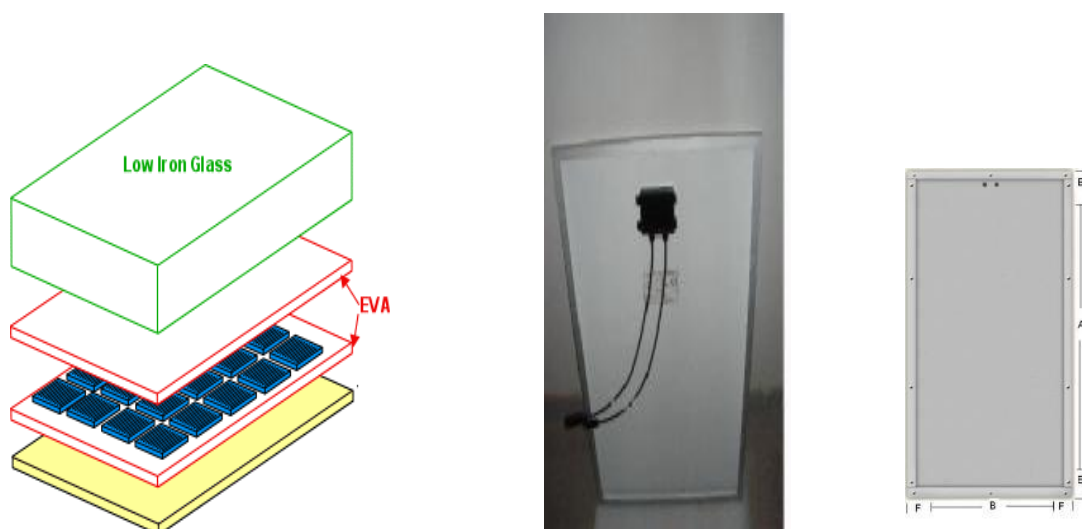


(σχήμα 1)

Η πάνω επιφάνεια είναι ε τι (-) και η κάτω επιφάνεια είναι το (+).Οι συνδέσεις γίνονται πάντα στις δυο άσπρες λωρίδες των οποίων το υλικό είναι κυρίως ασήμι. Κάθε cell παράγει περίπου 0.6 volt.

6.2.ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΕΝΑ MODULE

Όπως κοιτάμε ένα module από το τζάμι προς τα μέσα αποτελείται από τα μέρη που φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα .Έτσι συναντάμε σε πρώτη φάση το γυαλί αμέσως μετά το ένα τα cells με τα tab ribbons και τα bys ribbons συνδεδεμένα σε σειρά, ένα δεύτερο Ενα, το backsheet,(εικόνα 1)το junction box(εικόνα 2) και τέλος το μεταλλικό αλουμινένιο πλαίσιο που περιβάλλει το πάνελ.(εικόνα 3)



Εικόνα 6.1 ΥΛΙΚΑ MODYLE

6.2.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΓΥΑΛΙ:Το πρώτο υλικό που τοποθετείται στο πάνελ είναι το γυαλί χρησιμοποιείται έτσι ώστε να προστατεύει την εμπρός όψη του καθώς επίσης και να δίνει μηχανική αντοχή στο πάνελ εσωτερική του πλευρά έχει μορφή πρισματική για την καλύτερη και αποδοτικότερη εκμετάλλευση των ακτίνων του Ήλιου καθώς αντανακλά εκ'νευο της ήδη προσπίπτουσες ακτίνες

EVA:Το υλικό αυτό χρησιμοποιείται έτσι ώστε να συγκρατηθούν τα cells μεταξύ τους αλλά και με το γυαλί καθώς και με την πίσω επιφάνεια και προστατεύει το πάνελ από ελαττώματα και ανεπιθύμητα αποτελέσματα λόγω της υπεριώδους ακτινοβολίας.

CELLS: Είναι συνδεδεμένα σε σειρά 60 τον αριθμό και είναι αυτά που θα μας δώσουν την ισχύ που θέλουμε.

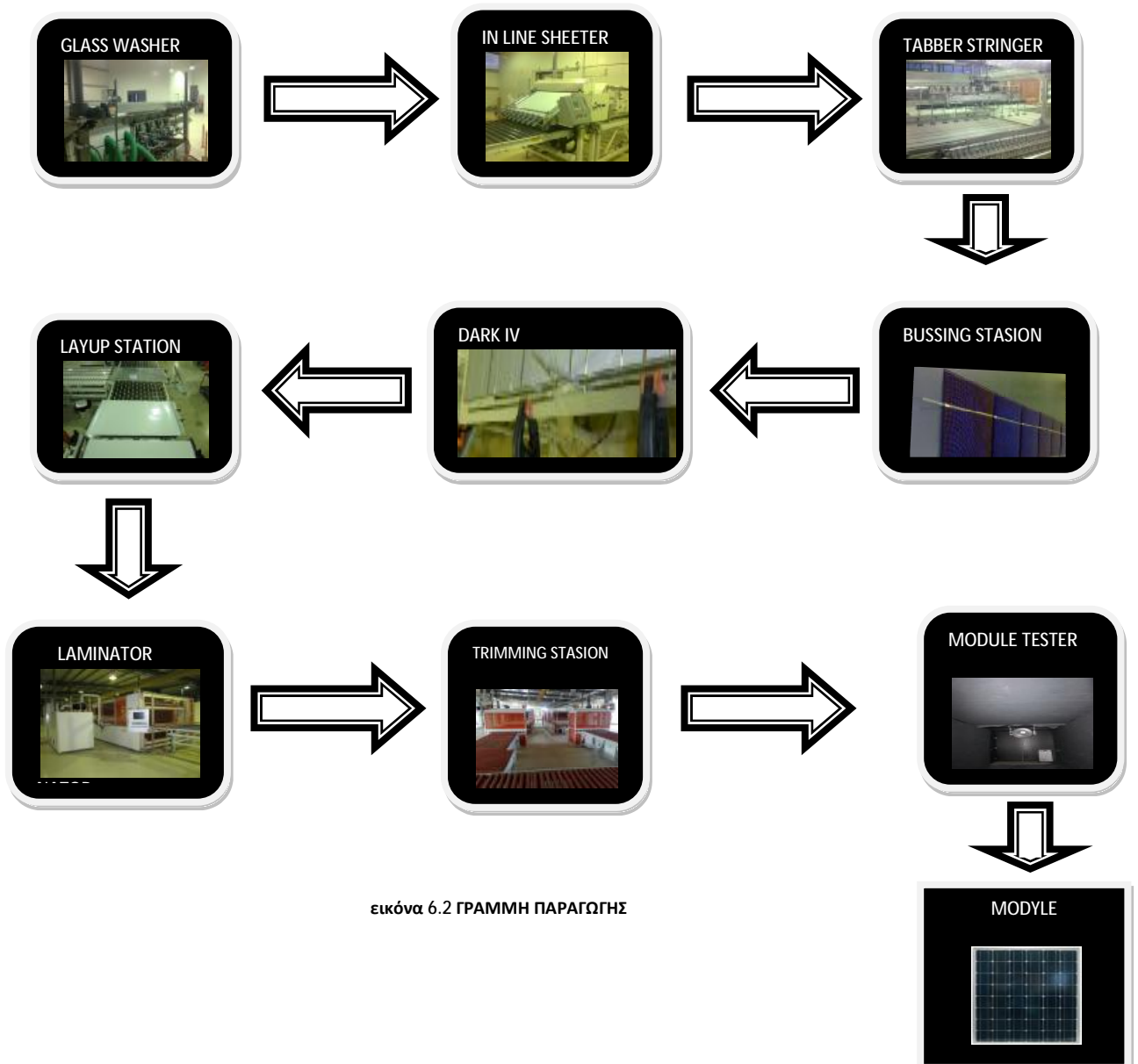
BACKSHEET: χρησιμεύει στην προστασία των cell από εισροή υδρατμών, νερού, αέρα, σωματιδίων, θερμότητας και τέλος παρέχει πολύ καλή ηλεκτρική μόνωση.

JUNCTION BOX: τοποθετείται στη πίσω όψη του πάνελ και χρησιμοποιείται για να συνδεθούν τα 4 bus ribbons που βγαίνουν έξω από το πάνελ.

ΑΛΟΥΜΙΝΕΝΙΟ ΠΛΑΙΣΙΟ :χρησιμοποιείται έτσι ώστε να προσδίδει μια σταθερότητα του πλαισίου πάνω στη βάση στήριξης για προστασία του πάνελ έναντι πτώσης, χιονιού, και δυνατών ανέμων.

6.3 ΣΤΑΔΙΑ ΓΡΑΜΜΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Στο (σχήμα 2) παρακάτω παρουσιάζεται η παραγωγική διαδικασία του module.



εικόνα 6.2 ΓΡΑΜΜΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

6.3.1 GLASS WASHER

Το στάδιο αυτό αποτελεί την έναρξη της παραγωγικής διαδικασίας. Εδω γίνεται ο καθαρισμός του γυαλιού από διάφορες ακαθαρσίες, σκόνη κτλ. Στο στάδιο αυτό μεταφέρεται ένα τεμάχιο γυαλιού και φορτώνεται πάνω σε ένα ταινιόδρομο εισόδου. Εκεί επιβλέπεται για οποιοδήποτε ελάττωμα και με βάση τα αποτελέσματα είτε απορρίπτεται είτε γίνεται αποδεκτό. Εάν γίνει αποδεκτό το τεμάχιο του γυαλιού αυτομάτως παίρνει μέσα από μια διεργασία οποία περιλαμβάνει πλύσιμο, ξέπλυμα με απιονισμένο νερό και στέγνωμα. Στη συνέχεια εξέρχεται από τον ταινιόδρομο του glass washer έτσι ώστε να περάσει στο δεύτερο στάδιο.



ΕΙΚΟΝΑ 6.3 GLASS WASHER

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

- 1) ΝΑ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΘΟΥΝ ΤΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΕΙΔΩΝ ΚΑΙ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΟΨΕΙΣ.
- 2) ΝΑ ΑΦΑΙΡΕΘΟΥΝ ΣΤΙΓΜΑΤΑ Η ΜΕΛΑΝΑ ΣΗΜΕΙΑ ΑΠΟ ΤΙΣ ΔΥΟ ΕΠΙΦΑΝΕΙΣ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ ΠΟΥ ΠΕΡΙΟΡΙΖΟΥΝ ΤΗΝ ΔΙΑΦΑΝΕΙΑ ΤΟΥ ΚΑΙ ΑΥΞΑΝΟΥΝ ΤΗΝ ΑΝΤΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ,
- 3) ΝΑ ΔΙΑΠΙΣΤΩΘΟΥΝ ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ ΩΣΤΕ ΝΑ ΑΠΟΡΙΦΘΕΙ ΠΡΙΝ ΕΙΣΕΛΘΕΙ ΣΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΗ ΔΙΑΔΙΑΚΣΙΑ

6.3.2 INLINE SHEETER

Στη συνέχεια από τον ταινιόδρομο εξόδου του glass washer το γυαλί μεταφέρεται στο layup sheeting station όπου εκεί ένα ή δυο φύλλα ενα κόβονται αυτόματα κατά μήκος και πλάτος του γυαλιού ώστε να τοποθετηθούν στη συνέχεια επάνω σε αυτό.



ΕΙΚΟΝΑ 6.4 INLINE SHEETER

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

- 1) ΝΑ ΡΥΘΜΙΖΕΙ ΤΗ ΣΩΣΤΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΡΟΛΟΥ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΕΙΣΕΡΧΟΜΕΝΟ ΓΥΑΛΙ
- 2) ΝΑ ΞΕΤΥΛΙΓΕΙ ΤΟ ΧΑΡΤΙ ΤΟ ΟΠΟΙΟ ΣΥΝΟΔΕΥΕΙ ΤΟ EVA ΣΕ ΟΛΟ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΝΑ ΤΟ ΤΥΛΙΓΕΙ ΣΕ ΕΝΑ ΑΛΛΟ ΡΟΛΟ.

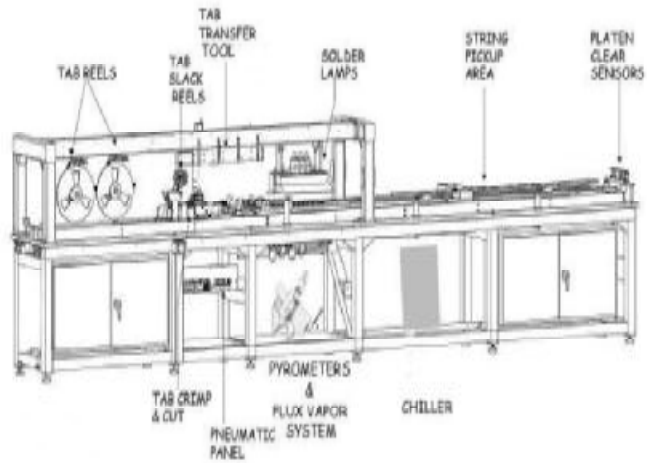
6.3.3 TABBER STRINGER

Στη συνέχεια τα cells τα οποία βρίσκονται ανά κατηγορία και τα οποία έχουν ελέγχει από την γραμμή παραγωγής των cell τοποθετούνται πάνω στον ταινιόδρομο εισόδου των κελιών του tabber stringer. Εκεί υπάρχουν δυο ρομπότ εκ των οποίων το ένα σηκώνει το κάθε cell ξεχωριστά, το περνά μέσα από ένα αυτοποιημένο σύστημα οπτικού ελέγχου (ώστε να επιβεβαιωθεί η φυσική ακεραιότητα του cell) και στη συνέχεια το μεταφέρει στο tabber stringer όπου εκεί λάμπες υπέρυθρου φωτός χρησιμοποιούνται για την αυτόματη συγκόλληση και σύνδεση των ξεχωριστών cells χρησιμοποιώντας μια προ επεξεργασμένη μεταλλική ταινία με επίστρωμα flux. Το δημιουργημένο string μεταφέρεται αυτόματα από το tabber stringer στο string lay-up station (μονάδα που το τοποθετεί πάνω στο γυαλί).

Το γυαλί μαζί με το φύλλο EVA που έχει περαστεί από τη προηγούμενη διαδικασία προσαρμόζεται στο string lay-up station, μόλις το σύστημα ελέγχου επιβεβαιώσει ότι το γυαλί έχει τοποθετηθεί στο string lay-up station, τότε ένα ρομπότ το οποίο κινείται με καρτεσιανές συντεταγμένες τοποθετεί τα string πάνω



στο προετοιμασμένο γυαλί. Όταν ο απαιτούμενος αριθμός ακολουθιών (δηλαδή 6 string) έχει τοποθετηθεί και ευθυγραμμιστεί πάνω στο προετοιμασμένο γυαλί ολόκληρη η διάταξη αυτόματα μετακινείται από έναν ενσωματωμένο ταινιόδρομο εξόδου πάνω σε ένα άδειο μεταφορικό όχημα γυαλιού.



ΕΙΚΟΝΑ 6.5 TABBER STRINGER

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

ΓΙΑ ΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΤΩΝ CELLS ΚΑΙ ΤΗ ΕΝΩΣΗ ΤΟΥΣ ΣΕ STRING ΘΑ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΓΙΝΕΙ:

- 1) ΑΜΕΣΗ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΤΩΝ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΗΣ ΘΕΣΗΣ ΤΩΝ BUS BARS ΤΩΝ CELLS
- 2) ΓΡΗΓΟΡΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΕΝΩΣΗ ΤΩΝ CELLS ΜΕ TAB.
- 3) ΕΥΚΟΛΟΣ ΚΑΙ ΓΡΗΓΟΡΟΣ ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ STRINGS
- 4) ΓΡΗΓΟΡΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΚΑΤΑ ΕΞΑΔΕΣ STRING ΠΑΝΩ ΣΤΟ ΓΥΑΛΙ



ΕΙΚΟΝΑ 6.6 ΛΑΜΠΕΣ ΣΤΟ TABBER STRINGER



ΕΙΚΟΝΑ 6.7 ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΟ TABBER STRINGER



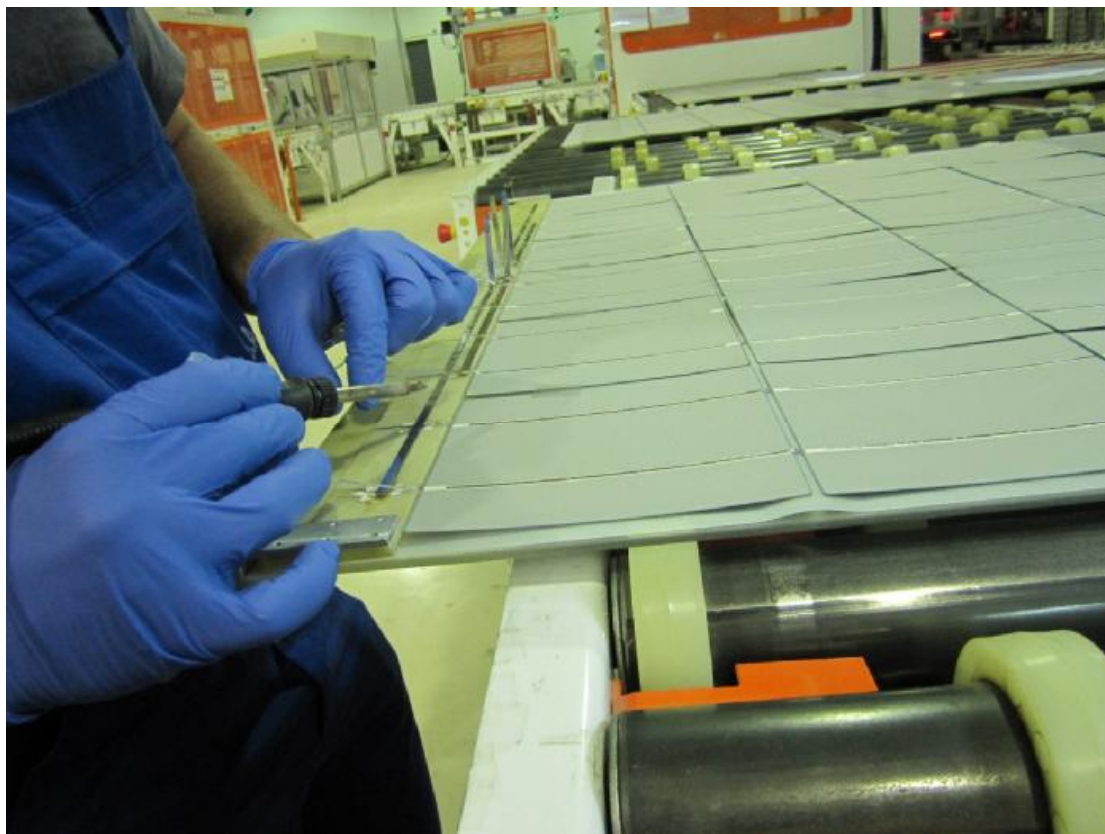
ΕΙΚΟΝΑ 6.8 PLATEN



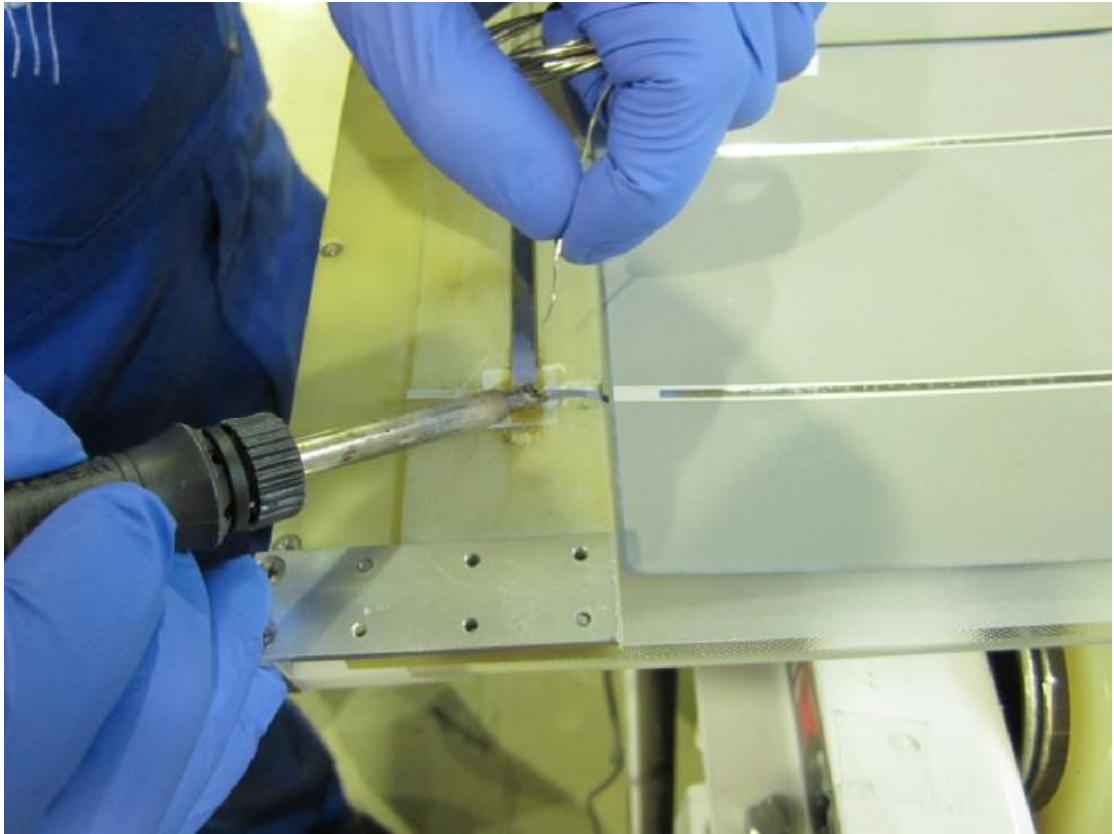
ΕΙΚΟΝΕΣ 6.9-6.10 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ STRING

6.3.4 BUSSING STATION

Στη συνέχεια το προετοιμασμένο γυαλί με τα 6 string(60 cell) πάνω του μεταφέρεται στο bussing station όπου εδώ πραγματοποιείται μια ακολουθία διεργασιών έτσι ώστε να συγκολληθούν τα 6 strings με τα bus ribbons. Έτσι παίρνονται τα κομμάτια των μεταλλικών ταινιών (bus ribbons) και αφού ευθυγραμμιστούν τοποθετούνται στις μεταλλικές ταινίες των string και στη συνέχεια πραγματοποιούνται συγκολλήσεις. Τέλος αφού γίνει και ένας τελευταίος οπτικός έλεγχος μετακινείται σε ένα άλλο άδειο όχημα μεταφοράς ώστε να μετακινηθεί στον επόμενο σταθμό που είναι το dark iv test.



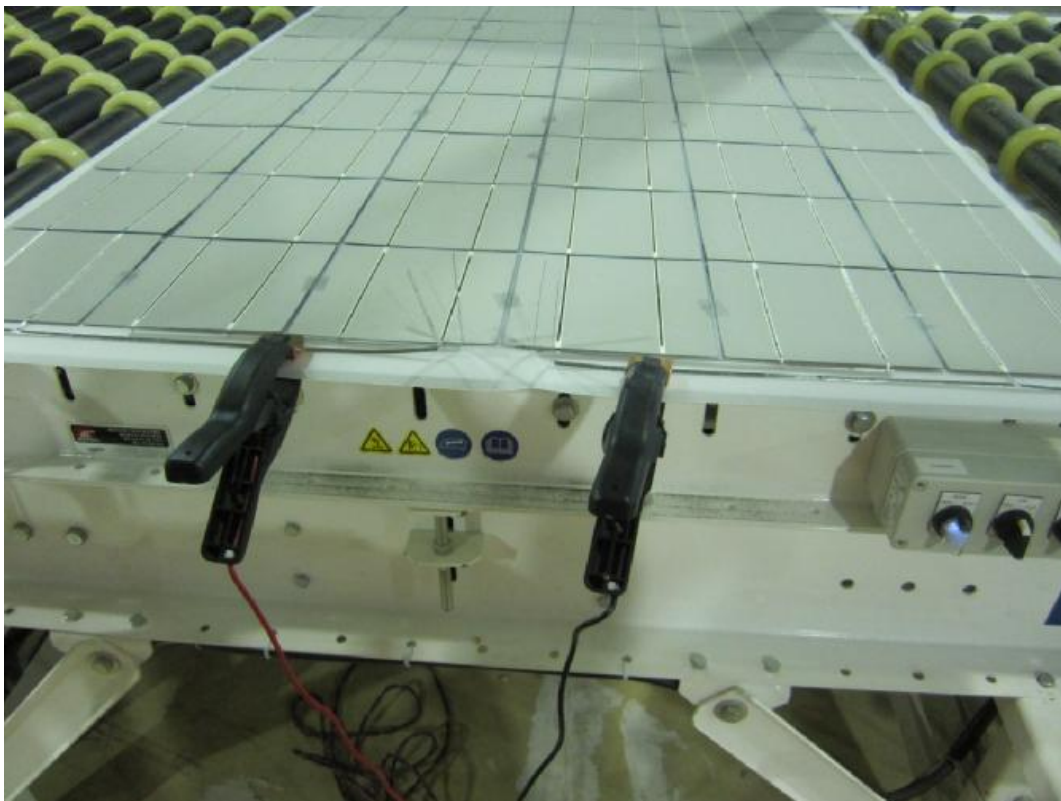
ΕΙΚΟΝΑ 6.11 ΚΟΛΗΣΕΙΣ RIBBON-STRING



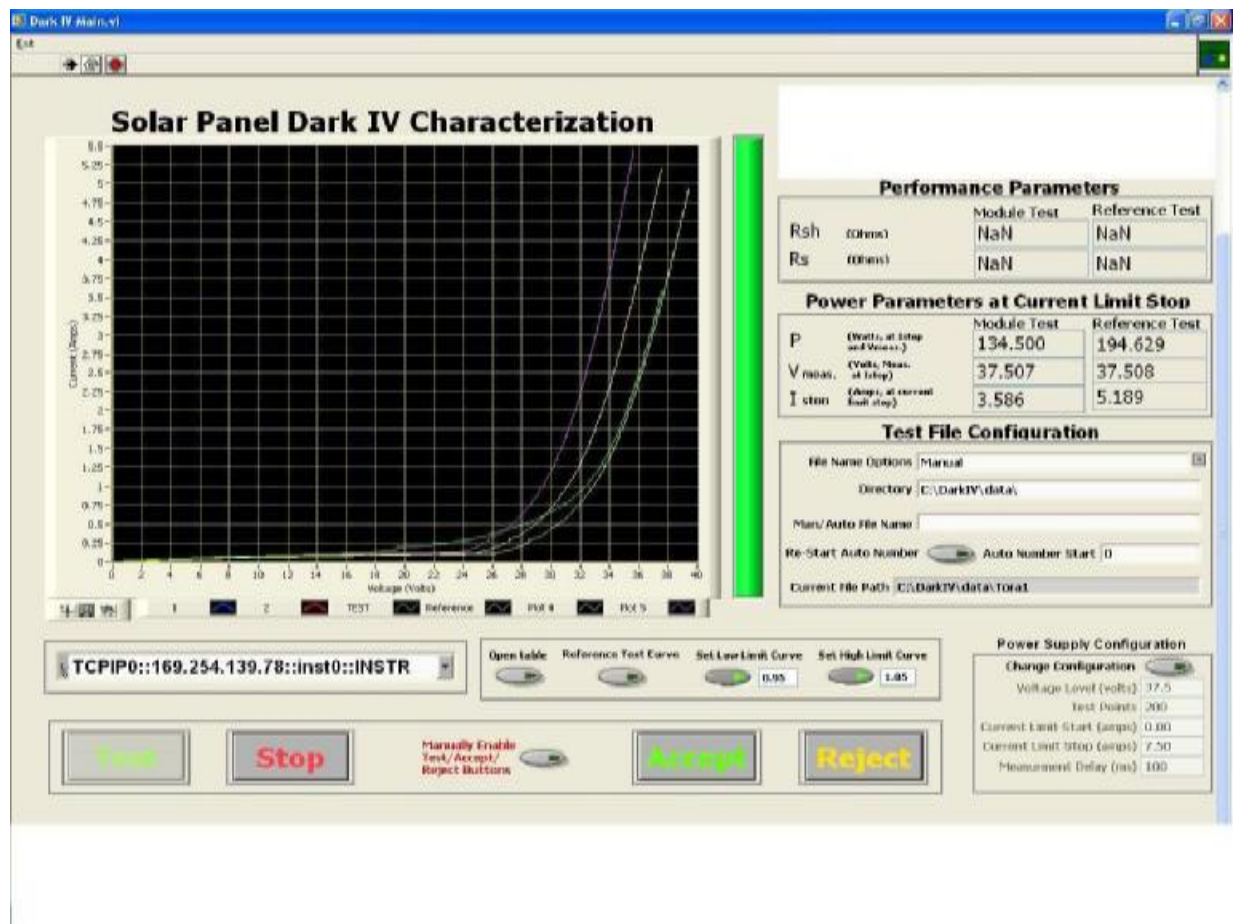
ΕΙΚΟΝΑ 6.12-13 ΚΟΛΗΣΕΙΣ RIBBON-STRING

6.3.5 DARK IV TEST

Στο σταθμό αυτό τσεκάρεται αν οι κολλήσεις που πραγματοποιήθηκαν προηγουμένως έχουν γίνει σωστά ,αν έχει γίνει κάποιο λάθος στην συνδεσμολογία, αν υπάρχουν τυχόν σπασίματα στα cells και γενικά αν το module συμπεριφέρεται από ηλεκτρικής απόψεως σύμφωνα με το αναμενόμενο, αυτό γίνεται με το dark iv test .Δηλαδή αξιολογεί τις ηλεκτρικές συνδέσεις και τα χαρακτηριστικά τις διόδου, προσδιορίζεται η σειριακή και παράλληλη αντίσταση, καθώς επίσης το ρεύμα και την τάση.



ΕΙΚΟΝΑ 6.14 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΟ DARK IV

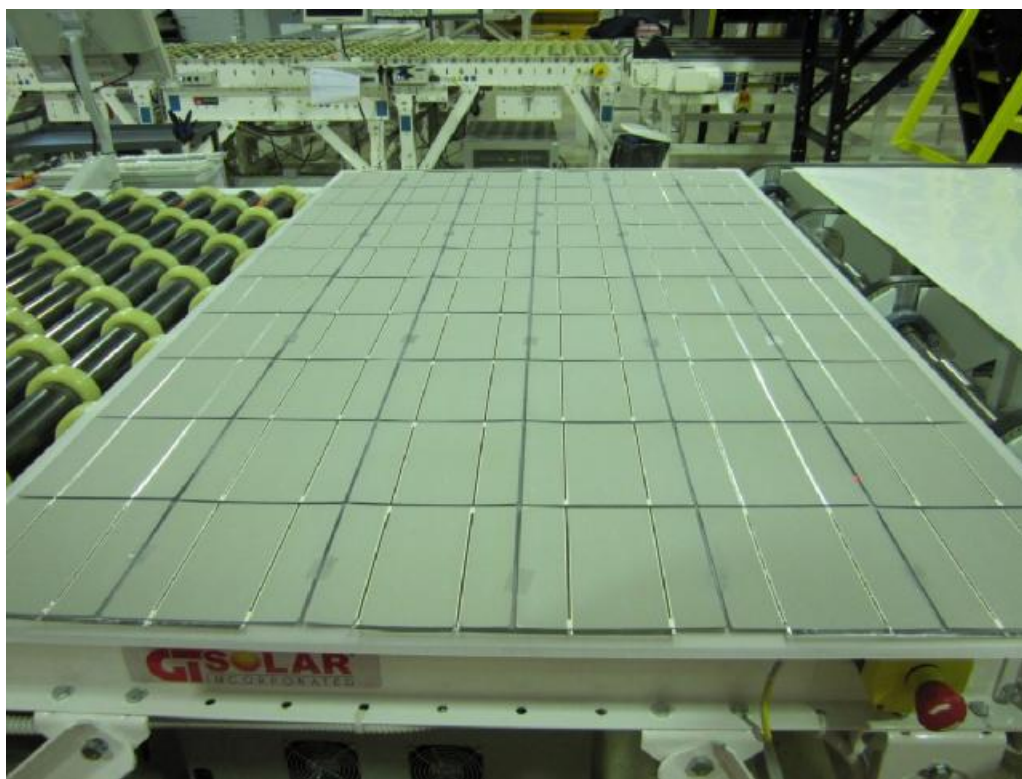


ΕΙΚΟΝΑ 6.15 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ DARK IV

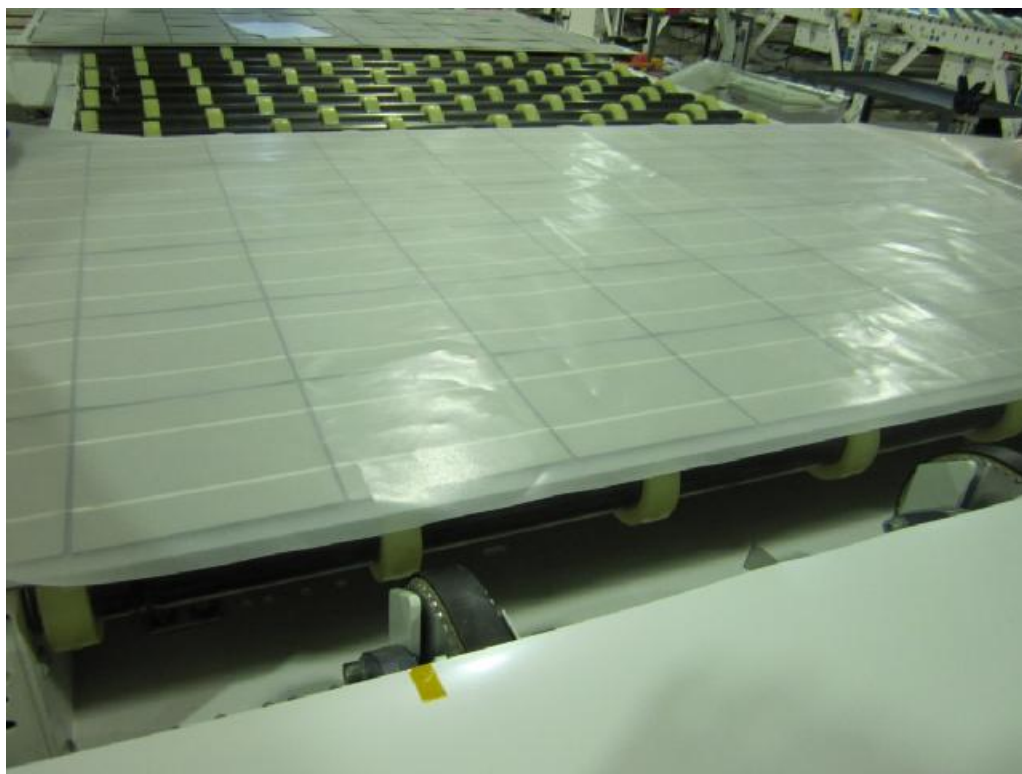
Σε περίπτωση που διαπιστωθεί κάποιο πρόβλημα το πάνελ επιδιορθώνεται έτσι ώστε να συνεχίσει στο επόμενο σταθμό. Τέλος αν το module είναι καλό τότε μπαίνει ένα δεύτερο στρώμα από φύλλο Ενα καθώς επίσης και το backsheet. Το backsheet είναι λευκό έτσι ώστε να κερδίσουμε τη μέγιστη αντανάκλαση και να μειώσουμε τη θερμοκρασία του module εξαιτίας της θερμότητας. Έτσι το module είναι έτοιμο να περάσει στον επόμενο σταθμό ο οποίος είναι το layup station.

6.3.6 LAYUP STATION

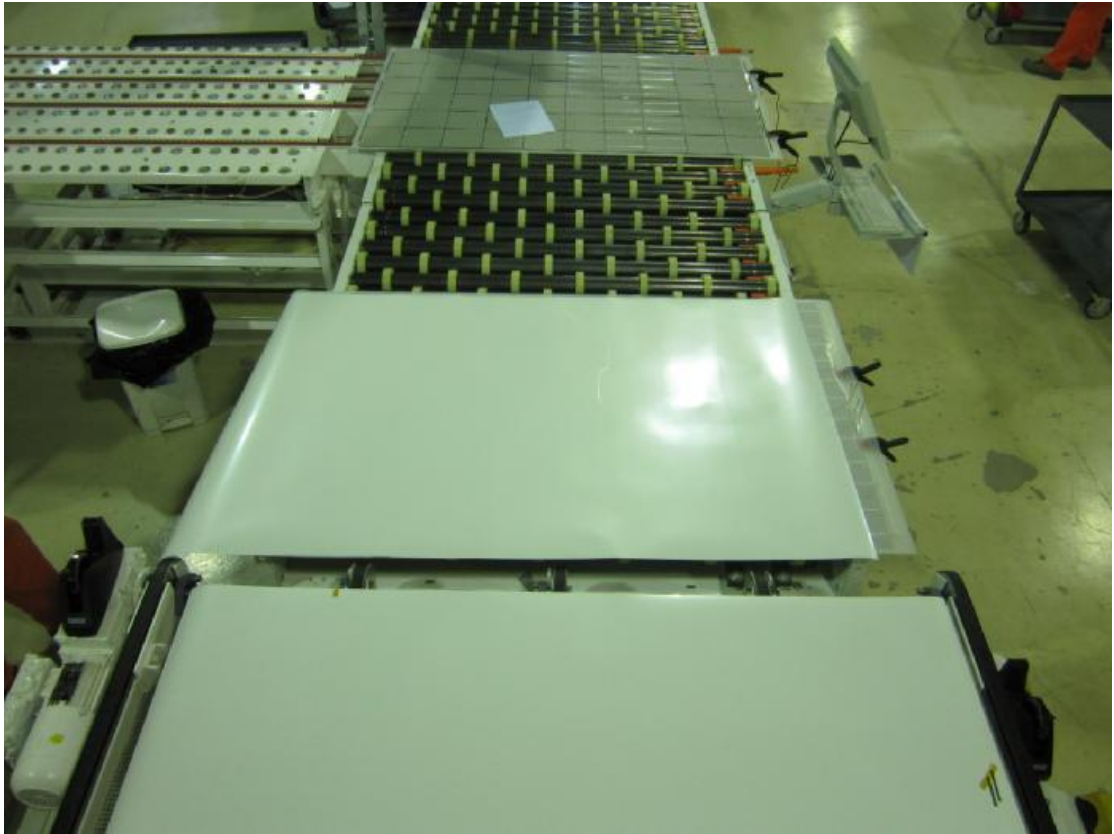
Στο σταθμό αυτό τοποθετείται ένα φύλλο Eva και πάνω από αυτό ένα φύλλο backsheet έτσι ώστε όταν εισέρθουν στο laminator να γίνουν ένα σώμα με τα cells



ΕΙΚΟΝΑ 6.16 ΤΟ PANEL ΠΡΙΝ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ EVA-BACKSHEET



ΕΙΚΟΝΑ 6.17 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ EVA



ΕΙΚΟΝΑ 6.18 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ BACKSHEET

6.3.7 LAMINATOR

Η διάταξη πλέον μεταφέρεται στην διαδικασία η οποία ονομάζεται lamination όπου το πλαίσιο μεταφέρεται σε έναν προθερμνομενο ταινιόδρομο εισόδου του laminator. Πριν εισέρθει μέσα σε αυτόν γίνεται ένας τελευταίος οπτικός έλεγχος για τυχόν ραγίσματα ή σπασίματα. Μόλις το laminator φτάσει στην απαιτούμενη θερμοκρασία η διάταξη μεταφέρεται αυτόματα μέσα σε αυτό. Όπου κάτω από υψηλή θερμοκρασία(περίπου στους 150 βαθμούς κελσίου)και πολύ χαμηλή πίεση υπό κενό γίνεται ένα σώμα. Μετά αυτό το στάδιο το EVA γίνεται διαφανές με αύξηση του βαθμού πολυμερισμού του λόγω της θερμοκρασίας. Ο ρόλος του Eνα φαίνεται σε αυτό το στάδιο χρησιμεύει για να κολλήσει τα cells με το γυαλί και την πίσω επιφάνεια. Επίσης εδώ τοποθετείται υπό κενό και θερμαίνεται έτσι ώστε τα υλικά που αποτελείται να γίνονται ενιαία διάταξη και παραμένει σε αυτές τις συνθήκες για κάποιο χρονικό διάστημα. Παράλληλα το κενό χρησιμεύει για να μην παγιδευτεί ο αέρας μεταξύ των διαφόρων τμημάτων .Στη συνέχεια και αφού ολοκληρωθεί ο πρώτος κύκλος του laminator υπάρχει και ένας δεύτερος όπου η διάταξη ψύχεται αυτόματα για κάποιο χρονικό διάστημα. Μόλις η διάταξη(laminate) παγώσει αρκετά μεταφέρεται και παίρνει θέση για τον επόμενο σταθμό.



ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

ΕΙΝΑΙ Η ΔΙΑΤΑΞΗ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΓΥΑΛΙ-EVA-STRINGS-EVA – BACKSHEET ΝΑ ΓΙΝΕΙ ΕΝΑ ΣΩΜΑ.

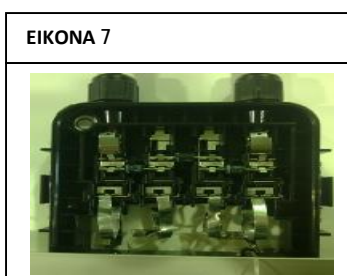
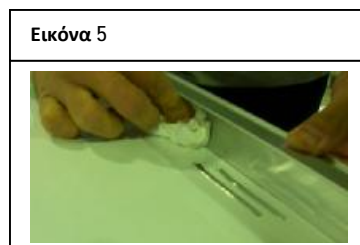
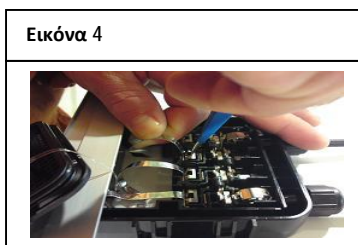
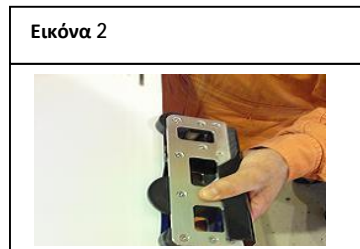
ΕΙΚΟΝΑ 6.19 LAMINATOR



ΕΙΚΟΝΑ 6.20 ΕΞΕΟΔΟΣ ΑΠΟ ΤΟ LAMINATOR

6.3.8 TRIMMING-JUNCTION BOX STATION

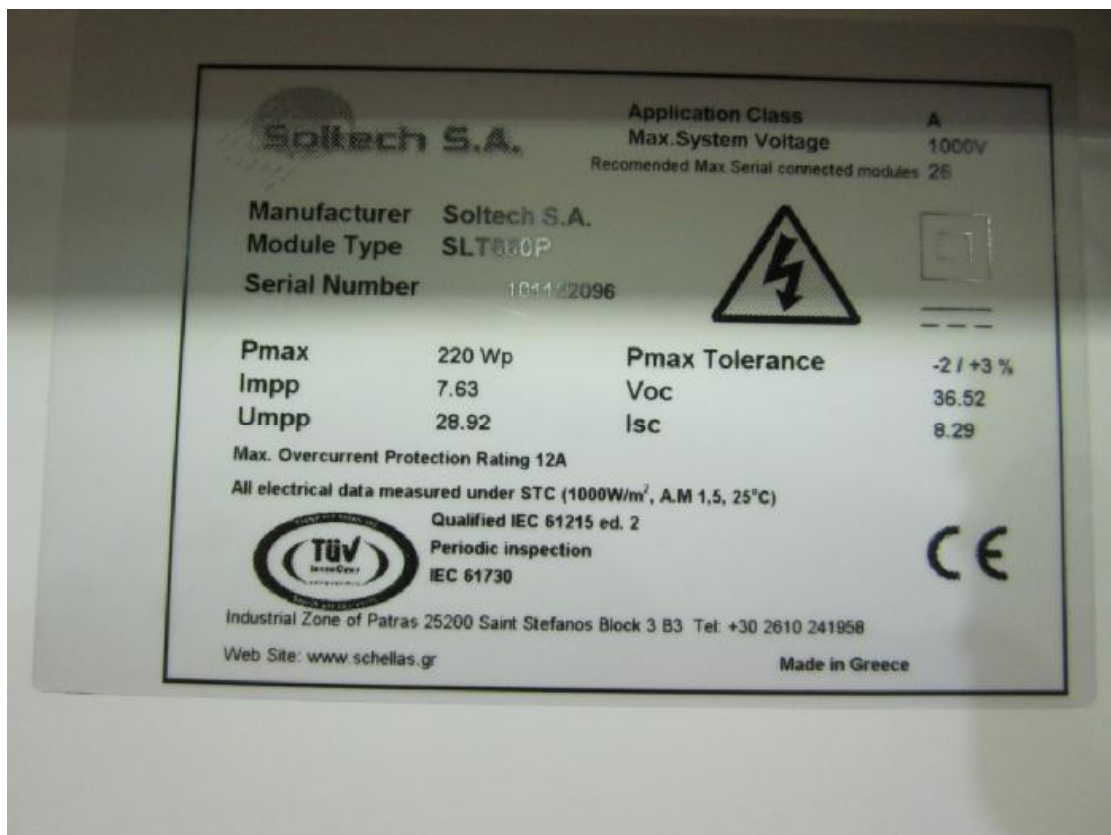
Μόλις η διαδικασία του laminator ολοκληρωθεί το module πηγαίνει στο σταθμό trimming έτσι ώστε να τοποθετηθεί το αλουμινένιο πλαίσιο καθώς επίσης και το junction box. Ας δούμε λοιπόν τι διεργασίες γίνονται σε αυτόν το σταθμό αναλυτικά. Αρχικά κόβονται τα περίσσεια κομμάτια του eva-backsheet πάνω από το πάνελ και που προεξέχουν από το γυαλί(εικόνα 1). Στη συνέχεια τοποθετείται μια κολλητική ταινία διπλής όψευς γύρω από το πάνελ(εικόνα 2). Η κολλητική ταινία χρησιμεύει αφενός για να κολλήσει στο τζάμι η μια πλευρά και αφετέρου η εξωτερική όψη της ταινίας κολλάει τα μεταλλικά πλαίσια. Έτσι με την ταινία είναι δύσκολο να μπει αέρας, υγρασία, νερό, σκόνη κ.α στο εσωτερικό του module. Επίσης προσδίδει σταθερότητα του πλαισίου επάνω στη βάση στήριξης για προστασία έναντι πτώσεως. Αφού λοιπόν μπουν και τα μεταλλικά πλαίσια περιμετρικά του πάνελ (εικόνα 3) τότε τοποθετείται και το junction box(εικόνα 4). Το junction box τοποθετείται στη πίσω όψη του πάνελ και συνδέει τα 4 bus ribbons(2 θετικά και 2 αρνητικά) που βγαίνουν έξω από το backsheet μέσα σε αυτό(εικόνα 5). Αφού συνδεθούν τότε βγαίνουν από το junction box(εικόνα 6) δυο ακροδέκτες(1 θετικός και 1 αρνητικός). Τέλος το junction box περιέχει και 3 διόδους(εικόνα 7) παράκαμψης(1 για κάθε 20 cells)



ΕΙΚΟΝΑ 6.21 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ TRIMMING

6.3.9 MODULE TESTER

Πλέον αφού και το junction box έχει τοποθετηθεί πάνω στο πάνελ, στη συνέχεια μεταφέρεται στον module tester έτσι ώστε να μετρηθεί η απόδοση του. Η απόδοση του ελέγχεται από μια λάμπα πλάσματος η οποία προσομοιώνει την ηλιακή ακτινοβολία και αφού γίνει ένα φλας ακτινοβολίας 1000 watt ανά τετραγωνικό μέτρο μετράμε τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του module δηλαδή την ισχύ, την τάση, το ρεύμα καθώς επίσης και το συντελεστή πλήρωσης (fill factor). Οι τιμές αυτές τυπώνονται σε ένα ταμπελάκι το οποίο τοποθετείται πίσω από το πάνελ και πάνω στο backsheet.



ΕΙΚΟΝΑ 6.22 ΤΑΜΠΕΛΑΚΙ ΜΕ ΤΑ ΝΑΓΡΑΦΟΜΕΝΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΠΑΝΕΛ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ



ΕΙΚΟΝΑ 6.23 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΟΥ LABEL ΣΤΟ ΠΑΝΕΛ

Παράλληλα εκτελούμε περιστασιακά και τεστ ασφαλείας για να δούμε πως συμπεριφέρεται το module σε συνθήκες βραχυκυκλώματος ή υψηλής τάσεως τροφοδοτώντας το πλαίσιο με πολύ υψηλό ρεύμα ή τάση.



ΕΙΚΟΝΑ 6.24 MODULE TESTER

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

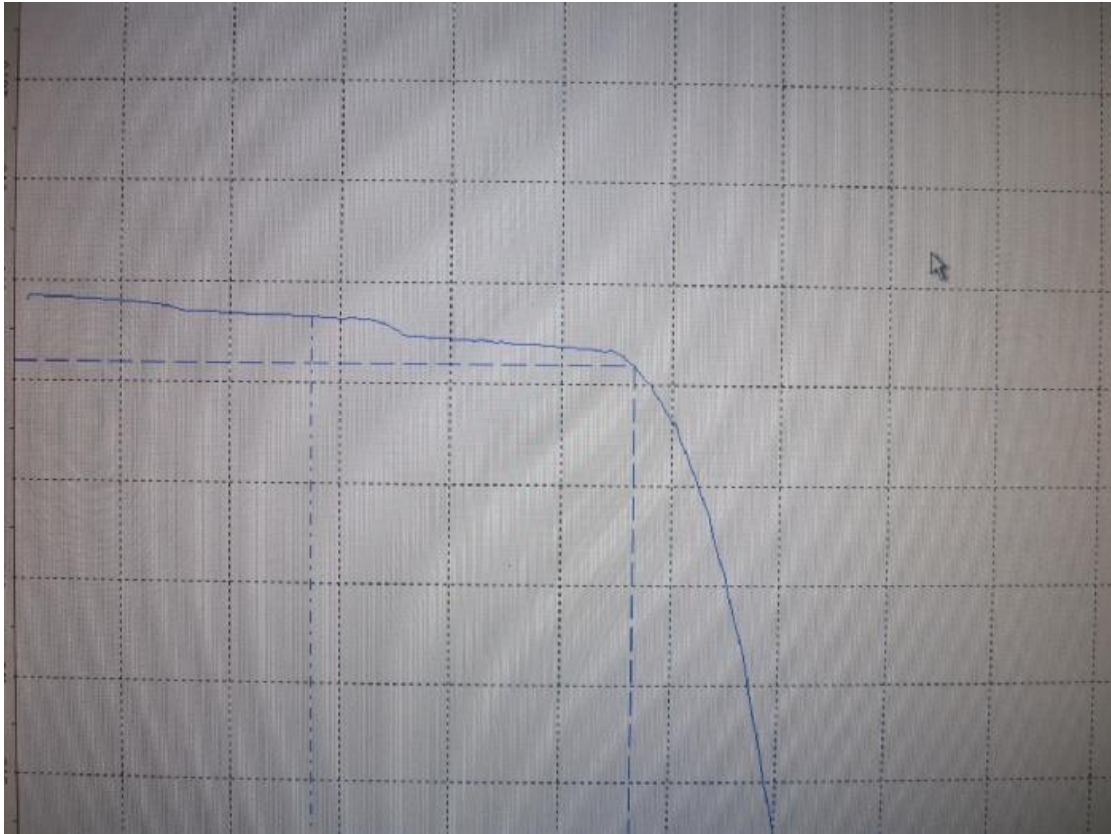
ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΕΝΟΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΑΝΕΛ



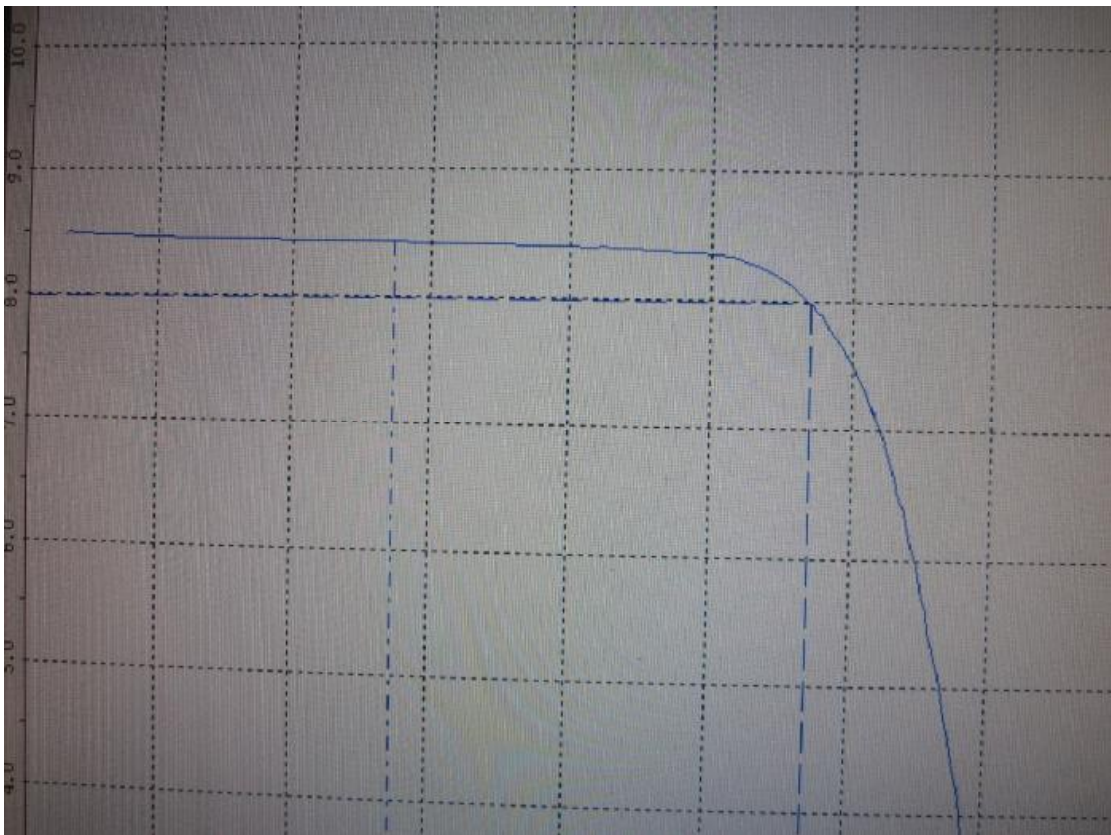
ΕΙΚΟΝΑ 6.25 ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΑΝΕΛ



ΕΙΚΟΝΑ 6.26 ΣΥΝΔΕΣΗ-ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΝΕΛ



ΕΙΚΟΝΑ 6.27 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ IV ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΗ



ΕΙΚΟΝΑ 6.28 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΜΕΤΡΗΣΗ

6.3.10 PACKAGING

Αφού πλέον έχει μετρηθεί το module στην συνέχεια μεταφέρεται διαμεσου ενός ταινιόδρομου έτσι ώστε να (πακεταριστεί) να τοποθετηθεί δηλαδή στην αντίστοιχη θέση του. Το module πακετάρεται με βάση την ισχύ του. Έτσι λοιπόν αφού μετρηθεί και κολληθεί το αντίστοιχο ταμπελάκι με τα ηλεκτρικά του γίνεται αρχικά ένας οπτικός έλεγχος σε αυτό για τυχόν ελαττώματα όπως για παράδειγμα σκισίματα κ.α. Αφού πραγματοποιηθεί ο οπτικός έλεγχος τότε καθαρίζεται η μπροστινή του επιφάνεια από τυχόν κόλλες που έχουν δημιουργηθεί από την όλη προηγούμενη παραγωγική διαδικασία .Αφού τελειώσει και ο καθαρισμός του στην συνέχεια τοποθετούνται στις αντίστοιχες υποδοχές του τα αυτοκόλλητα της γείωσης.



ΕΙΚΟΝΑ 6.29 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΣΗΜΑΝΣΗΣ ΓΕΙΩΣΗΣ

Στη συνέχεια τοποθετούνται ειδικές γωνίες στις τέσσερις άκρες του πάνελ και τέλος τοποθετείται στην αντίστοιχη παλέτα .



ΕΙΚΟΝΑ 6.30 ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΠΑΝΕΛ ΣΕ ΠΑΛΕΤΕΣ ΑΝΑΛΟΓΑ ΜΕ ΤΗΝ ΙΣΧΥ

Με την τοποθέτηση του στη παλέτα καταγράφεται ο σειριακός αριθμός και η κλάση ισχύος του. Η διαδικασία αυτή συνεχίζει μέχρι ώστε να συμπληρωθεί ο απαιτούμενος αριθμός modules (25 τον αριθμό). Τέλος με το συμπλήρωμα της κάθε παλέτας γίνεται ένα περιτύλιγμα αυτής για μεγαλύτερη συγκράτηση κατά την μεταφορά.



ΕΙΚΟΝΑ 6.31 ΟΛΟΚΡΗΡΩΜΕΝΗ ΠΑΛΕΤΑ

Με το πέρας της διαδικασίας του περιτυλίγματος πάνω στη παλέτα τοποθετούνται το έντυπο που είναι καταγεγραμμένα τα βασικά ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του καθενός πάνελ ξεχωριστά αλλά και ένα δεύτερο έντυπο που περιέχει οδηγίες για την τοποθέτηση αυτών

6.4 ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΣΤΑΘΜΟΙ

FLUX STATION

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

ΚΑΛΥΨΗ ΤΟΥ RIBBON ΜΕ FLUX.

Προκειμένου να φτιαχτεί ένα string στο tabber stringer πρέπει να συνδεθούν 10 cell σε σειρά με την βοήθεια του Tab ribbon. Η κόλληση αυτή γίνεται με την βοήθεια υπέρυθρων λαμπών και ειδικού υγρού κόλλησης του flux. Το Tab ribbon είναι ήδη έτοιμο με flux στο σταθμό flux station. Στο μηχάνημα αυτό μπαίνουν καρούλια καθαρού tab ribbon και περνούν μέσα από μια μικρή δεξαμενή με flux και στη συνέχεια θερμαίνεται με ζεστό αέρα ώστε να στεγνώσει το flux πάνω στο tab ribbon. Η ποσότητα του flux που θα παραμείνει πάνω στο ribbon καθορίζεται από την ταχύτητα που θα περάσει το ribbon μέσα από την δεξαμενή και από τη θερμοκρασία. Στο τέλος το tab ribbon συλλέγεται σε ειδικά καρούλια (rils) τα οποία είναι συμβατά με τις αντίστοιχες υποδοχές που υπάρχουν στο Tabber stringer.



ΕΙΚΟΝΑ 6.32 FLUX STATION

BUS CUTTER STATION

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΟΠΗ ΤΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΟΥ BUS RIBBON

Στο σταθμό αυτό κόβονται τα bus ribbon στις επιθυμητές διαστάσεις ώστε να γίνουν οι απαραίτητες συνδέσεις στο κύκλωμα. Οι συνδέσεις γίνονται ανάμεσα στα Tab ribbon στις άκρες κάθε string ώστε τελικά τα 6 string του κυκλώματος να συνδεθούν σε σειρά. Φορτώνεται ένα καρούλι bus cutter χωρίς flux και κόβεται σε τρία διαφορετικά μήκη.



ΕΙΚΟΝΑ 6.33 BUS CUTTER

**OFFLINE EVA AND BACKSEET
SHEETERS**

ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

- 1) ΚΟΠΗ ΤΟΥ EVA ΚΑΙ BACKSHEET
ΣΤΟ ΣΩΣΤΟ ΜΗΚΟΣ
- 2) ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΟΠΩΝ

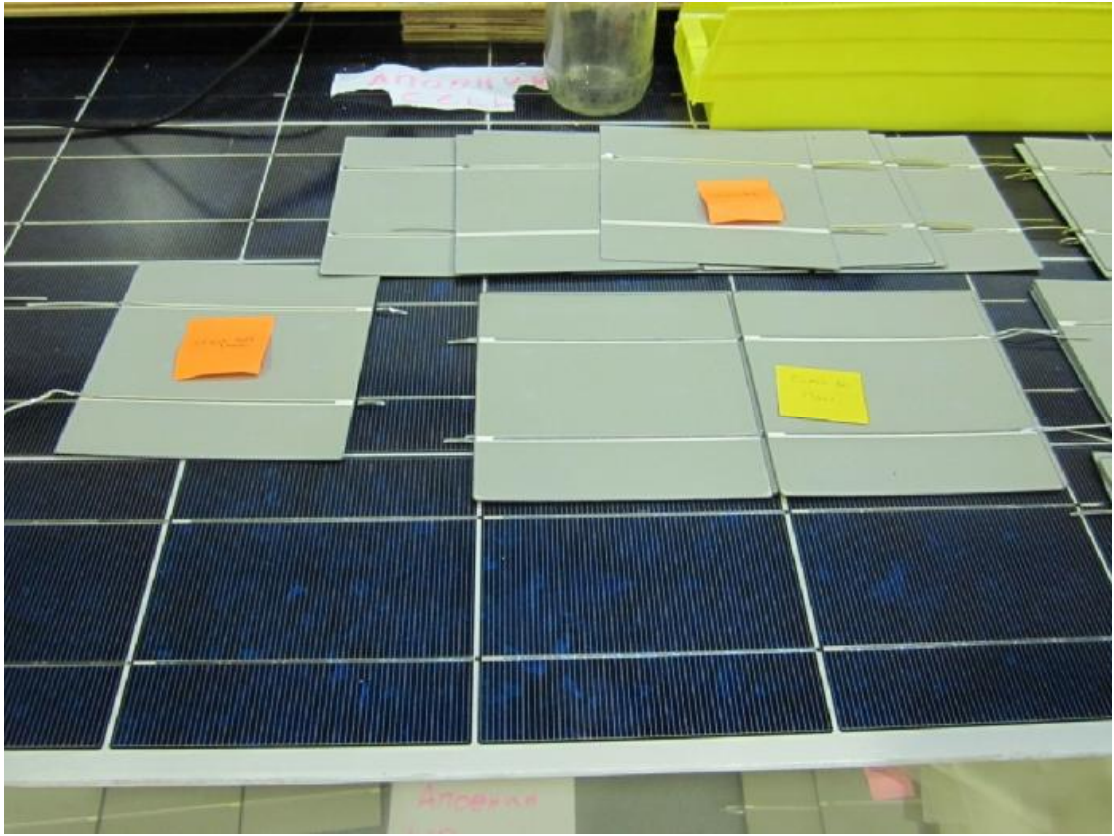
Στο σταθμό του layup τοποθετείται στο πάνελ ένα φύλλο eva και ένα φύλλο backsheet. Τα φύλλα αυτά κόβονται στο κατάλληλο μήκος (το πλάτος είναι καθορισμένο) στους offline sheeters. Σε κάθε sheeter φορτώνεται ένα ρολό eva ή backsheet αντίστοιχα και κόβεται με ειδικές λεπίδες στο μήκος που έχει ρυθμιστεί ενώ παράλληλα γίνονται και οι αντίστοιχες σπές προκειμένου να περάσουν από κεί τα ribbons. Οι σπές αυτές γίνονται μέσω δεύτερου σετ λεπίδων (σύνολο 4 σπές).



EIKONA 6.34 OFFLINE SHEETERS

REWORK

Όταν κατά τη διάρκεια του soldering ή του layup station σπάσει κάποιο cell τότε το πάνελ μεταφέρεται στο rework station (εκτός της κανονικής γραμμής) γίνεται επιδιόρθωση αλλάζοντας το σπασμένο cell χειροκίνητα .Στη συνέχεια επιστρέφει στη γραμμή για να συνεχίσει η παραγωγική του διαδικασία. Επίσης σε αυτό το σταθμό διορθώνονται όσα string έχουν απορριφθεί από το tabber stringer για τον ίδιο λόγο.



EIKONA 6.35 REWARK

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7



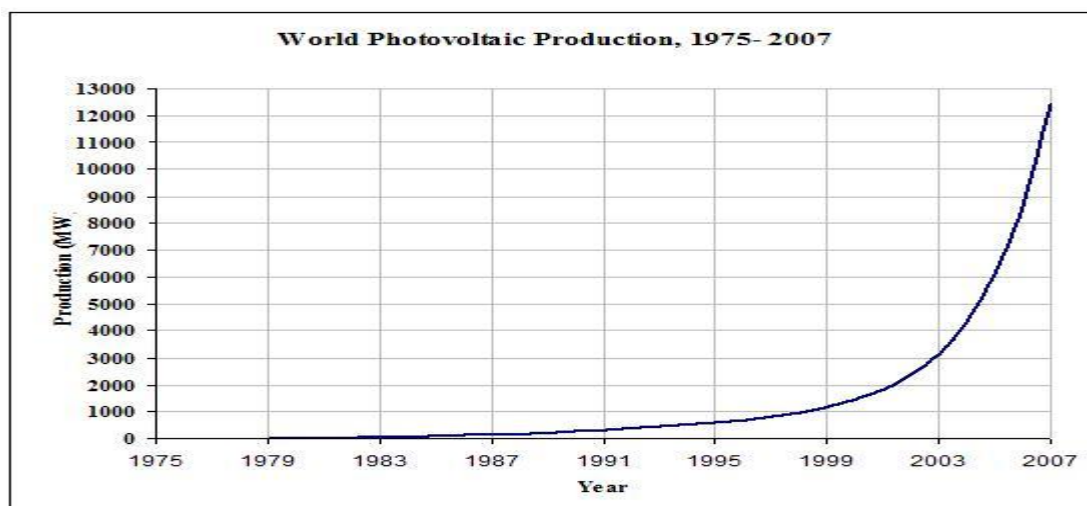
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

7.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

7.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αγορά των φωτοβολταϊκών(Φ/Β) στον κόσμο σημειώνει χαρακτηριστική αύξηση τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της σταδιακής μείωσης του αρχικά υψηλού κόστους, καθώς και λόγω των κινήτρων που προσφέρονται σε εθνικό επίπεδο στις διάφορες χώρες. Ενδεικτικά, το 1988 είχαν εγκατασταθεί Φ/Β συνολικής ισχύος 33 MWp και σήμερα η συνολική εγκατεστημένη ισχύς έχει φτάσει περίπου τα 12900 MWp. Η τιμή αυτή έχει επιτευχθεί κυρίως λόγω της υψηλής ανάπτυξης των Φ/Β σε τρεις χώρες, Γερμανία, Ιαπωνία και ΗΠΑ, στις οποίες αντιστοιχεί το 89% της παγκόσμιας παραγωγής. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι καμία από τις τρεις αυτές χώρες δεν έχει καλύτερο ηλιακό δυναμικό(ηλιακή ενέργεια ανά τετραγωνικό μέτρο) από την Ελλάδα.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1: ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ 1975-2007

Εφόσον το κόστος των Φ/Β συνεχίζει να μειώνεται και δεδομένων των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των συμβατικών μεθόδων παραγωγής ηλεκτρισμού, η αγορά των Φ/Β αναμένεται να αναπτυχθεί με τον ίδιο ή και μεγαλύτερο βαθμό στο μέλλον. Αυτό εντάσσεται και στην πολιτική των διεθνών φορέων και οργανισμών, με αποτέλεσμα η υποστήριξη, τα κίνητρα και οι επενδύσεις σε αυτή την τεχνολογία να είναι σημαντικές. Η δυνατότητα των Φ/Β να εγκαθίστανται σε διάφορα σημεία (σκεπές, πολυκατοικίες, οικόπεδα κλπ), χωρίς ιδιαίτερους περιορισμούς και χωρίς σημαντική οπτική όχληση, δημιουργεί, εν δυνάμει, ανεξάντλητα περιθώρια ανάπτυξης αυτής της τεχνολογίας.

Τα κίνητρα που δίνονται από τις χώρες και εφαρμόζονται μέσω της νομοθεσίας είναι αντίστοιχα με αυτά της αιολικής ενέργειας. Δηλαδή, χωρίζονται πάλι σε συστήματα σταθερής τιμής (Fixed Price) και συστήματα σταθερής

ποσότητας(Fixed Quantity). Η διαφορά με την αιολική ενέργεια είναι ότι συνήθως για τον ηλεκτρισμό που παράγεται από Φ/Β, οι τιμές πώλησης και οι επιδοτήσεις, είναι υψηλότερες, κυρίως λόγω της υψηλού αρχικού κόστους μίας επένδυσης.

Τα Φωτοβολταϊκά στην Ελλάδα

Εξετάζοντας την Ελληνική αγορά και την ανάπτυξη των Φ/Β, μπορεί να διαπιστωθεί το καθεστώς που διέπει εν γένει τον κλάδο των ΑΠΕ στη χώρα μας. Επιγραμματικά, η ανάπτυξή τους υπήρξε μηδαμινή (2.2 MWp το 2003) τουλάχιστον μέχρι το 2006, όπου οι εγκαταστάσεις Φ/Β περιορίζονταν σε αυτές της ΔΕΗ σε νησιά (Κύθνος, Αντικύθηρα κλπ) και σε εγκαταστάσεις ιδιωτών σε απομακρυσμένες κατοικίες. Μια τέτοια ανάπτυξη είναι σαφώς απογοητευτική, δεδομένου του εξαιρετικού ηλιακού δυναμικού της χώρας μας. Οι κύριοι λόγοι για την μικρή αυτή ανάπτυξη είναι τα συνήθη γραφειοκρατικά προβλήματα, τα μηδαμινά κίνητρα τα οποία καθιστούσαν ασύμφορη μια επένδυση σε Φ/Β και ο μονοπωλιακός χαρακτήρας του ενεργειακού τομέα μέχρι το 2001.

Το 2006, με το νόμο 3468/2006, ξεκαθαρίστηκε σε μεγάλο βαθμό το νομοθετικό πλαίσιο σε σχέση με τις ΑΠΕ και κατά συνέπεια και με τα Φ/Β. Ταυτόχρονα με τις ευνοϊκές τιμολογιακές ρυθμίσεις και επιχορηγήσεις για τους ενδιαφερόμενους επενδυτές σε μικρομεσαία κλίμακα, θεσμοθετήθηκε ένα πρόγραμμα Ανάπτυξης Φωτοβολταϊκών Σταθμών (ΑΦΣ) με σκοπό την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών σταθμών, αμιγώς για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Σύμφωνα με το πρόγραμμα αυτό προβλέπεται η αδειοδότηση Φ/Β σταθμών συνολικής ισχύος 590 MWp για σύνδεση με το εθνικό δίκτυο, 200 MWp για τα μη διασυνδεδεμένα νησιά και 50 MWp για τους αυτοπαραγωγούς. Οι επενδύσεις αυτής της κατηγορίας θα ενισχυθούν από εθνικούς και κοινοτικούς πόρους υπό το καθεστώς του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ). Είναι δεδομένο, ότι υπό αυτές τις συνθήκες, η ανάπτυξη των Φ/Β θα αυξανόταν κατακόρυφα. Όμως, τα μέτρα αυτά κίνησαν το ενδιαφέρον πολλών μικροεπενδυτών με αποτέλεσμα ο αριθμός των αιτήσεων για άδειες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να ξεπερνάει κατά πολύ (2489 MWp) το στόχο του προγράμματος ΑΦΣ. Αυτό το γεγονός είχε ως αποτέλεσμα, το Υπουργείο Ανάπτυξης να αναστείλει την αδειοδοτική διαδικασία στα τέλη του 2007. Είναι σαφές ότι παρά τις ευνοϊκές ρυθμίσεις του νόμου 3468/2006 και του ΑΦΣ, το πρόβλημα της χρονοβόρας αδειοδοτικής διαδικασίας παραμένει, με αποτέλεσμα στα τέλη του 2007 να έχουν εγκατασταθεί 5 MWp και να έχουν δοθεί άδειες παραγωγής για μόνο 10 MWp. Οι επενδυτές που δραστηριοποιούνται στον κλάδο των ΑΠΕ και ιδιαίτερα των Φ/Β τηρούν στάση αναμονής και περιμένουν αποσυμφόρηση των αδειών παραγωγής με μέτρα απλοποίησης της αδειοδοτικής διαδικασίας από την πολιτεία.

7.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις έχουν κάνει δυναμικά την είσοδο τους στην ελληνική πραγματικότητα καθώς έρχονται για να συμβάλουν σε ένα καλύτερο και βιώσιμο μέλλον αλλά και να προσφέρουν και ένα επιπλέον εισόδημα στους χρήστες. Έτσι ανάλογα με την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας τα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες. Τα διασυνδεδεμένα ,τα αυτόνομα και τα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα.

7.2.1 ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

- **ΣΤΑΘΕΡΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ**

Τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι συστήματα τα οποία συνδέονται και λειτουργούν παράλληλα με το κεντρικό ηλεκτρικό δίκτυο .Δεν διαθέτουν σύστημα αποθήκευσης ενέργειας(μπαταρίες),οπότε δεν έχουν και αναλώσιμα υλικά .Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν καταναλώνεται από τον ιδιοκτήτη και η πλεονάζουσα ή και όλη η παραγόμενη ενέργεια πωλείτε στο δίκτυο. Χρησιμοποιούνται για εξοικονόμηση ενέργειας ή παραγωγή και πώληση αυτής στο δίκτυο.

Τα μέρη τα οποία αποτελείται ένα διασυνδεδεμένο σύστημα είναι τα φωτοβολταϊκά πλαίσια, οι αντιστροφείς τάσης, τις βάσεις στήριξης των πλαισίων, τα καλώδια σύνδεσης ,τους πίνακες σύνδεσης συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος, μετρητικές διατάξεις, αντικεραυνική προστασία ,περιμετρικός φωτισμός.

Τα διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δυο επιμέρους κατηγορίες ανάλογα τα συστήματα στήριξης. Έτσι διακρίνονται σε στήριξη με σταθερό σύστημα εδάφους ,σε στήριξη με σταθερό σύστημα σε επικλινή στέγη ,σε σύστημα με σύστημα σε επίπεδη οροφή κτιρίου και σε στήριξη με σύστημα ηλιοστατών(tracker) στο έδαφος.

Τα σταθερά συστήματα πλεονεκτούν έναντι των tracker στην απλότητα της κατασκευής τους, στο κόστος εγκατάστασης ,στην ταχύτητα εγκατάστασης, στο κόστος συντήρησης ,στη μεγαλύτερη ανεξάρτηση του επενδύτη έναντι του κατασκευαστή και τέλος σε θέματα αξιοπιστίας.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΩΝ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



Διασυνδεδεμένο σύστημα 4,5 kWp σε πέργκολα.
Τυρός Αρκαδίας, Μάρτιος 2008



Διασυνδεδεμένο σύστημα σε μεταλλική οροφή της εταιρίας STANDOR Ltd.
Αυλίδα Εύβοιας, Ιανουάριος 2008



Διασυνδεδεμένο σύστημα 18 kWp της εταιρίας STYLCA. Αργολίδα, Οκτ. 2007



Διασυνδεδεμένο σύστημα στο 2ο ΣΕΚ.
Δήμος Αιγάλεω, 2007



Διασυνδεδεμένο φωτοβολταϊκό σύστημα, ισχύος 11,9 KW, σε πολυκατοικίες στον Ταύρο. Εγκαταστάθηκε τον Απρίλιο του 2002. Η φωτοβολταϊκή αυτή εγκατάσταση της ΣΕΝΕΡΣ, αποτελεί πρωτοπορία στην εφαρμογή ενσωμάτωσης στο κτίριο και ως προς την ηλεκτρονική σύνδεση διαφορετικών φωτοβολταϊκών γεννητριών μεταξύ τους. Για πρώτη φορά, έγινε μίξη στην σύνδεση φωτοβολταϊκών γεννητριών με διαφορετικές διαστάσεις, διαφορετική τάση και ισχύ, δίνοντας έτσι μια νέα διάσταση και ελευθερία στον σχεδιασμό ενσωμάτωσης των φωτοβολταϊκών στα κτίρια.



Διασυνδεδεμένο σύστημα με ενσωματωμένες τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες στην οροφή του κτιρίου (αντί για κεραμίδια) στο Κέντρο Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης (ΚΠΕ) Καστοριάς. Πρωτοποριακή εφαρμογή για τον ελλαδικό χώρο διότι οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες είναι ενσωματωμένες στην οροφή του κτιρίου ως δομικά υλικά (αντί για κεραμίδια), συμβάλλοντας έτσι εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας, στη μείωση κόστους των δομικών υλικών, αλλά και στην αισθητική του κτιρίου. Παρόμοια εγκατάσταση έχει πραγματοποιηθεί από τη ΣΕΝΕΡΣ και στο 3ο Δημοτικό Σχολείο Σχηματαρίου.

- **ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕ ΗΛΙΟΣΤΑΤΕΣ**

Στα φωτοβολταϊκά πάρκα συνηθίζεται η χρήση συστημάτων παρακολούθησης της τροχιάς του Ήλιου. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται ηλιοστατες ή trackers. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι η άμεση ακτινοβολία προσπίπτει στα πάνελ κάθετα με αποτέλεσμα την αυξημένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν τρία βασικά είδη τέτοιων συστημάτων. Παρακολούθηση της τροχιάς στον κάθετο άξονα, στον οριζόντιο και στους δυο άξονες. Επίσης ανάλογα με την μέθοδο που δίνει κίνηση στους άξονες του συστήματος διακρίνονται σε, υδραυλικά συστήματα και ηλεκτρικά συστήματα κίνησης.

Οι ηλιοστάτες πλεονεκτούν συνολικά στην απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος και αποδίδουν μεγαλύτερα οικονομικά ωφέλη. Βέβαια υπάρχει ένα αυξημένο κόστος στην κατασκευή και τη εγκατάσταση αλλά οι ηλιοστάτες μπορούν να αυξήσουν αρκετά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στα μειονεκτήματα των ηλιοστατών συγκαταλέγονται αρκετά. Ένα από αυτά είναι το αυξημένο κόστος της επένδυσης σε αυτά, επίσης η ύπαρξη κινητών μερών η οποία αυξάνει την πολυπλοκότητα του συστήματος, χρειάζονται κάποιο μέρος από την ηλεκτρική ενέργεια για αυτοκατανάλωση λόγω της περιστροφής των συστημάτων, υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη για απομακρυσμένο έλεγχο του συστήματος. Τέλος υπάρχει μεγαλύτερος κίνδυνος καταστροφής σε περίπτωση ακραίων καιρικών συνθηκών.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΗΛΙΟΣΤΑΤΩΝ



7.2.2 ΑΥΤΟΝΟΜΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



Εως σήμερα η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε χώρους οι οποίοι δεν ήταν συνδεδεμένοι με το δίκτυο της ΔΕΗ (όπως εξοχικές κατοικίες, κτήματα, γεωτρήσεις κ.α) εξασφαλιζονταν από την χρήση κάποιας ηλεκτρογεννήτριας η οποία λειτουργούσε με πετρέλαιο ή βενζίνη. Σήμερα όμως οι τεχνολογικές ανακαλύψεις έρχονται να δώσουν λύση σε αυτό το πρόβλημα με την δημιουργία αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Ένα συνήθης αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα αποτελείται από φωτοβολταϊκά πλαίσια ,μπαταρίες που συσσωρεύουν την ηλεκτρική ενέργεια ώστε να υπάρχει διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας, συσκευή φόρτισης των συσσωρευτών και τέλος έναν inverter-αντιστροφέα ο οποίος μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

Η λειτουργία ενός αυτόνομου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι πολύ απλή αν αναλογιστεί κανείς ότι κατά την διάρκεια της ημέρας το Φ/Β σύστημα παράγει και στην συνέχεια αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια η οποία είναι ανά πάσα στιγμή διαθέσιμη προς κατανάλωση.

Η διαφορά τους με τα διασυνδεδεμένα συστήματα έγκειται στο γεγονός ότι τα αυτόνομα συστήματα μπορούν να αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια.

Τα πλεονεκτήματα των αυτόνομων συστημάτων είναι το χαμηλό κόστος ,η αθόρυβη λειτουργία τους, μεταφορά και αποθήκευση ενέργειας, δεν χρειάζονται συντήρηση και είναι φιλικά και προσκείμενα προς το περιβάλλον προσφέροντας υψηλές αποδόσεις.

Τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα διακρίνονται σε δυο κατηγορίες. Στα πολύ μικρά φ/β συστήματα τα οποία χρησιμοποιούνται σε πολύ μικρού μεγέθους εφαρμογές όπως τροχόσπιτα ,σκάφη αναψυχής ,φωτισμός κήπων δεύτερη κατηγορία είναι τα αυτόνομα φ/β συστήματα τα οποία περιλαμβάνουν συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για σπίτια, χωριά, αγροτικές εκτάσεις κ.α.

Τα διαδικαστικά βήματα που ακολουθούνται για την εγκατάσταση ενός αυτονόμου φωτοβολταϊκού συστήματος είναι τα ακόλουθα:

- 1.εμπεριστατομενη μελέτη για τη εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών του χώρου
- 2.υπολογισμος των ηλεκτρικών φορτίων που το φωτοβολταϊκό σύστημα πρέπει να υποστηρίξει
- 3.ακριβης υπολογισμός της παραγόμενης από το φ/β σύστημα ενέργειας
- 4.συνταξη τεχνοοικονομικής μελέτης που περιλαμβάνει βάση των παραμέτρων εξοπλισμό καθώς και το συνολικό κόστος του συστήματος

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα σε κατοικία μόνιμης διαμονής στο Ρέθυμνο Κρήτης.



Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα στην Κύμη Ευβοίας, που ηλεκτροδοτεί μοναστηριακό μετόχι μόνιμης διαμονής.

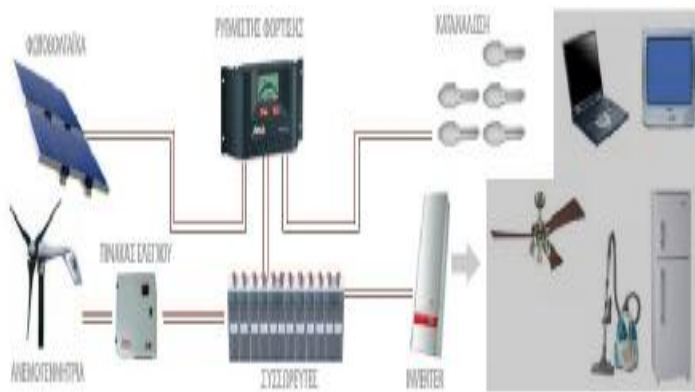


Αυτόνομο σύστημα που ηλεκτροδοτεί τον παραδοσιακό τουριστικό Οικισμό 14 οικιών "Άσπρος Ποταμός", στο Μακρύ Γιαλό της Κρήτης. Αυτή η εφαρμογή τιμήθηκε το 1995 από την EUROSOLAR με το Ευρωπαϊκό Βραβείο Φωτοβολταϊκών Εφαρμογών, για την τεχνολογία, την άφογη λειτουργία, την αισθητική και την οικολογική ευαισθησία του ιδιοκτήτη.



Αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα που ηλεκτροδοτεί εξοχική κατοικία.

7.2.3 ΥΒΡΙΔΙΚΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ



Τα υβριδικά φωτοβολταϊκά συστήματα είναι συστήματα τα οποία αποτελούνται από μια φωτοβολταϊκή συστοιχία σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας. Το πλεονέκτημα των υβριδικών συστημάτων είναι ότι όταν υστερεί η μία πηγή ενέργειας, συνήθως πλεονεκτεί η άλλη. Και αναφερόμαστε στον συνηθισμένο συνδυασμό, ανεμογεννήτριας και φωτοβολταϊκών στοιχείων, ενώ αρκετά δημοφιλής είναι και ο συνδυασμός ηλιακού θερμικού συλλέκτη με καυστήρα πετρελαίου ή βιομάζας.

Ο συνδυασμός ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών χρησιμοποιείτε αρκετά συχνά σε απομονωμένες κατοικίες και οικισμούς όπου η πρόσβαση στο κεντρικό δίκτυο είναι πολύ δαπανηρή ή ακόμα και αδύνατη. Συνήθως στο σύστημα προστίθεται και μία ηλεκτρογεννήτρια με συμβατικά καύσιμα για μεγαλύτερη αξιοπιστία, ενώ η χρήση των μπαταριών (ή και κυψέλων καύσιμου με υδρογόνο) είναι σχεδόν απαραίτητη σαν η πιο εύκολη και απλή λύση παροχής σταθερής τάσης στο σύστημα, αλλά και εφεδρείας.

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ



Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα με Η/Ζ, που ηλεκτροδοτεί Ιερό καλύβι στο Άγιον Όρος.



Υβριδικό φωτοβολταϊκό σύστημα σε συνδυασμό με το κεντρικό δίκτυο σε Ιερά Μονή της Καλύμνου.

7.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΑΓΟΡΑ

Οι εφαρμογές των φωτοβολταϊκών τις οποίες συναντούμαι στην ελληνική αγορά είναι είτε με την μορφή πάρκων είτε με την μορφή στις στέγες. Παρακάτω θα αναλύσουμε τις δυο αυτές εφαρμογές.

7.3.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΕ ΣΤΕΓΕΣ.

Το πρόγραμμα αυτό απευθύνεται σε οικιακούς καταναλωτές και πολύ μικρές επιχειρήσεις που επιθυμούν να εγκαταστήσουν φ/β ισχύος έως και 10kW σε στέγη κτιρίου, συμπεριλαμβανομένων των στεγάστρων βεραντών. Για να ενταχθούν στο πρόγραμμα θα πρέπει να έχουν στην κυριότητα τους το χώρο τον οποίο εγκαθίστανται το φ/β σύστημα. Πολύ μικρές επιχειρήσεις σύμφωνα με το νόμο είναι αυτές που απασχολούν έως 10 άτομα και έχουν κύκλο εργασιών και σύνολο ενεργητικού έως 2.000.000 ετησίως.

ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΗ ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΗ

Η απαραίτητη προϋπόθεση για την δημιουργία ενός φ/β συστήματος είναι η ύπαρξη ενεργής παροχής ρεύματος στο όνομα του κυρίου του φ/β συστήματος. Επίσης απαιτείται μέρος των αναγκών σε ζεστό νερό να καλύπτεται από την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (πχ ηλιακός θερμοσίφωνα)

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗΣ

Η γενικότερη διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

- Βήμα 1:** Υποβολή αίτησης στην τοπική Δ.Ε.Η.
- Βήμα 2:** Υποβολή αίτησης στην αρμόδια Πολεοδομική Υπηρεσία.
- Βήμα 3:** Υποβολή αίτησης για κατάρτιση της Σύμβασης Σύνδεσης στην τοπική Δ.Ε.Η.
- Βήμα 4:** Υπογραφή Σύμβασης Σύνδεσης και ταυτόχρονη καταβολή της Σχετική Δαπάνης στην τοπική Δ.Ε.Η. Στο σημείο αυτό καθορίζεται η ημερομηνία ολοκλήρωσης της εγκατάστασης και ξεκινούν οι εργασίες για την εγκατάσταση του Συστήματος.
- Βήμα 5:** Υποβολή αίτησης για κατάρτιση της Σύμβασης Συμψηφισμού στην τοπική υπηρεσία Εμπορίας της Δ.Ε.Η., αφού έχει ολοκληρωθεί η εγκατάσταση.
- Βήμα 6:** Υπογραφή της Σύμβασης Συμψηφισμού.
- Βήμα 7:** Υποβολή αίτησης ενεργοποίησης της σύνδεσης στην τοπική Δ.Ε.Η.
- Βήμα 8:** Ενεργοποίηση της Σύνδεσης.

ΧΩΡΟΣ

Η συνολικότερη παραγόμενη ενέργεια από το φ/β σύστημα διοχετεύεται στο δίκτυο και πωλείτε στη ΔΕΗ με τιμή 0.55 €/kWh εγγυημένη για 25 χρόνια. Ο χώρος ο οποίος απαιτείται θα πρέπει να είναι ασκίαστος και ιδιαιτέρως για μέγιστη απόδοση τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα πρέπει να είναι τοποθετημένα έτσι ώστε να κοιτούν το νότο με κλίση περίπου στις 30 μοίρες. Η επιφάνεια που απαιτείται για κάθε εγκατεστημένο KW είναι περίπου 12-15 τ.μ.για ταράτσα ή 7-10 τ.μ για στέγη .Στον πίνακα 2 παρακάτω παρουσιάζεται η απαιτούμενη επιφάνεια και η μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

Απαιτούμενη επιφάνεια		Εγκατεστημένη Ισχύς	Μέση Ετήσια Παραγόμενη Ενέργεια
Ταράτσα	Στέγη		
50m ²	30m ²	3kW	3.600kWh
70m ²	45m ²	5kW	6.000kWh
110m ²	70m ²	8kW	9.600kWh
140m ²	90m ²	10kW	12.000kWh

ΚΟΣΤΟΣ

Το κόστος ενός φ/β συστήματος ανέρχεται σε 3.500-4.000 ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ. Με βάση το κόστος αλλά και την δεδομένη τιμή πώλησης της κιλοβατώρας η απόσβεση υπολογίζεται στα 4-5 έτη. Εκτός του κόστους αυτού υπάρχει και το κόστος διασύνδεσης με την ΔΕΗ το οποίο ανέρχεται στα 800-1200 περίπου.

7.3.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ ΣΕ ΠΑΡΚΑ

Το πρόγραμμα αυτό βρίσκει εφαρμογές σε μεγάλες εκτάσεις όπως αγροτεμάχια καθώς και μεγάλες εκτάσεις, συνεπώς η παραγόμενη ενέργεια θα είναι μεγαλύτερη.

ΕΚΤΑΣΗ

Η έκταση που απαιτείται θα πρέπει να είναι ασκίαστος χώρος και ιδιαιτέρως για μέγιστη απόδοση τα φωτοβολταϊκά πλαίσια θα πρέπει να είναι τοποθετημένα έτσι ώστε να κοιτούν το νότο με κλίση περίπου στις 30 μοίρες. Στον παρακάτω πίνακα 3

παρουσιάζεται η αντιστοιχία της επιφάνειας εγκατεστημένης ισχύος σε σχέση με την παραγόμενη ενέργεια

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

Απαιτούμενη επιφάνεια	Εγκατεστημένη Ισχύς	Μέση Ετήσια Παραγόμενη Ενέργεια
1.000τ.μ.	25kW	30.000kWh
3.500-4.000τ.μ.	100kW	120.000kWh
18.000-20.000τ.μ.	500kW	600.000kWh
35.000-38.000τ.μ.	1MW	1.200.000kWh
65.000-70.000τ.μ.	2MW	2.400.000kWh

ΚΟΣΤΟΣ-ΕΠΙΔΟΤΗΣΗ

Το κόστος ενός φωτοβολταϊκού πάρκου είναι περίπου 2.80-3.30€/W. Συνεπώς ένα σύστημα της τάξεως των 100kW κοστολογείται στα 290.000-300.000€. Για το κόστος αυτό δεν προβλέπεται επιδότηση συνήθους δανειοδότηση από την μεριά των τραπεζών ανέρχεται στο 75% του συνολικού κόστους της επένδυσης με επιτόκιο 7-8%.

ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ

Η συνολική παραγόμενη ενέργεια από το φωτοβολταϊκό σύστημα διοχετεύεται στο δίκτυο και πωλείτε στην ΔΕΗ α)για φωτοβολταϊκό σύστημα έως 100 KW με τιμή 0.45€/KW εγγυημένη για τα 20 χρόνια του συμβολαίου β)για φωτοβολταϊκό σύστημα άνω των 100 KW τιμή 0.40€ εγγυημένη για 20 χρόνια. Με αυτά τα δεδομένα και με βάση το κόστος και τα έξοδα του συστήματος υπολογίζεται απόσβεση της επένδυσης στα 6-7 έτη. Με βάση τον νέο νόμο 3851/2010 για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας προβλέπεται μείωση τιμής ανά εξάμηνο .Ο παρακάτω πίνακας εμφανίζει την κλιμάκωση της τιμής στα επόμενα έτη.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

Τιμολόγηση Ηλεκτρικής Ενέργειας (MWh) για τα επόμενα έτη

Έτος-Μήνας	Διασυνδεδεμένο		Μη Διασυνδεδεμένο
	≤100kW	>100kW	
2009 Φεβρουάριος	450,00 €	400,00 €	450,00 €
2009 Αύγουστος	450,00 €	400,00 €	450,00 €
2010 Φεβρουάριος	450,00 €	400,00 €	450,00 €
2010 Αύγουστος	441,05 €	392,04 €	441,05 €
2011 Φεβρουάριος	419,43 €	372,83 €	419,43 €
2011 Αύγουστος	394,89 €	351,01 €	394,89 €
2012 Φεβρουάριος	375,54 €	333,81 €	375,54 €
2012 Αύγουστος	353,55 €	314,27 €	353,55 €
2013 Φεβρουάριος	336,23 €	298,87 €	336,23 €
2013 Αύγουστος	316,55 €	281,38 €	316,55 €
2014 Φεβρουάριος	302,56 €	268,94 €	302,56 €
2014 Αύγουστος	293,59 €	260,97 €	293,59 €
Για κάθε ν-έτος από το 2015 και μετά	1,4xμΟΤΣ _{ν-1}	1,3xμΟΤΣ _{ν-1}	1,4xμΟΤΣ _{ν-1}

Η μείωση της τιμής δεν αφορά όσους έχουν υπογράψει σύμβαση αγοραπωλησίας. Για παράδειγμα αν κάποιος που υπογράψει τον Νοέμβριο για ένα πάρκο 500KW θα πουλήσει την ενέργεια που παράγει προς 0.39204€/kwh.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗΣ

Η γενικότερη διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί έτσι ώστε να πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5

Βήμα 1: απαιτείται αρχικά αίτηση στο κατά τόπους κατάστημα της Δ.Ε.Η.)

Βήμα 2: Παράλληλα γίνεται αίτηση για απαλλαγή από Ε.Π.Ο. στην αρμόδια υπηρεσία της εκάστοτε περιφέρειας. **Βήμα 3:** Στη συνέχεια συνάπτεται η Σύμβαση Σύνδεσης και η Σύμβαση Αγοραπωλησίας με τη Δ.Ε.Η. και τον Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. αντίστοιχα, αφού ληφθεί και η απαραίτητη άδεια εργασιών μικρής κλίμακας από την πολεοδομία.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για ένα Φ/Β Σύστημα ισχύος έως 500kW με την μόνη διαφορά ότι η αρχική αίτηση κατατίθεται στην αρμόδια περιφέρεια της Δ.Ε.Η. Τα Φ/Β Πάρκα ισχύος ανάμεσα 500kW και 1MW διαφοροποιούνται στο ότι γι' αυτά απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση πλέον των υπολοίπων.

Τέλος, για Φ/Β Πάρκα άνω του 1MW **Βήμα 1:** η αρχική αίτηση κατατίθεται στην Ρ.Α.Ε., η οποία είναι υπεύθυνη για την έκδοση της Αδειας Παραγωγής **Βήμα 2:** Στη συνέχεια απαιτείται περιβαλλοντική αδειοδότηση και αίτηση στον Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. **Βήμα 3:** Κατόπιν συνάπτεται η Σύμβαση Σύνδεσης και η Σύμβαση Αγοραπωλησίας με τη Δ.Ε.Η. και τον Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε. αντίστοιχα, αφού ληφθεί και η απαραίτητη άδεια εργασιών μικρής κλίμακας, αλλά και η Άδεια Εγκατάστασης από την πολεοδομία. **Βήμα 4:** Τέλος, μετά από δοκιμαστική περίοδο παραχωρείται η Άδεια Λειτουργίας του Φ/Β Πάρκου.

[1] Κ.ΚΑΓΚΑΡΑΚΗ, Φωτοβολταϊκή τεχνολογία-Φωτοβολταϊκή μετατροπή-Φωτοβολταϊκή γεννήτρια

[2] Γιάννης χαριτάντης, εισαγωγή στα ηλεκτρονικά-βασική θεωρία ημιαγωγών-η επαφή pn

[3] soltech Α.Ε οδηγίες εργασίας

[4] <http://www.seners.gr/pages/gr/autonomous.htm>

[5] <http://www.neonenergy.gr/projects.html>

[6] <http://www.greenenergia.gr>

[7] <http://www.cres.gr/kape/index.htm>