

- **ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ**
 - **ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**
 - **ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

- **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ - 1197**

- **ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ
ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΝΕΛ**



- **ΔΗΜΑΚΟΣ ΣΤΑΥΡΟΣ**
- **ΔΡ. ΣΤΑΘΑΤΟΣ ΗΛΙΑΣ**

- **ΠΑΤΡΑ - ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2013**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στη πτυχιακή μου εργασία με τίτλο " ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΕΝΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΝΕΛ" αναλύω τον κύκλο που κάνει ένα φωτοβολταϊκό σύστημα από την αρχή της ζωής του, που είναι η συλλογή και επεξεργασία των πρώτων υλών του, ύστερα αναλύω τα στάδια παραγωγής από την ακατέργαστη πρώτη ύλη μέχρι την ολοκλήρωση της φωτοβολταϊκής μονάδας και στο τέλος την συγκέντρωση μετά την καταστροφή του φωτοβολταϊκού πάνελ με σκοπό την ανακύκλωση και ανασύσταση των πρώτων υλών του.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρομαι γενικά για τα φωτοβολταϊκά (ΦΒ) συστήματα. Και πιο συγκεκριμένα αναφέρομαι στο τι είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα, πως λειτουργούν, από τα μέρη που αποτελούνται καθώς και πόσο απαραίτητες είναι οι ηλιακές κυψέλες σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας μου αναφέρομαι αναλυτικά στα στάδια παραγωγής όλων των pn πάνελ κρυσταλλικών (c-Si) και λεπτού υμενίου (Thin Film) που υπάρχουν στην αγορά καθώς και στις διαδικασίες που τα αποτελούν.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρω αναλυτικά στην ανακύκλωση και ανασύσταση κρυσταλλικής ΦΒ μονάδας και πιο συγκεκριμένα στην ανακύκλωση και ανασύσταση του πυριτίου της.

Στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο της πτυχιακής μου εργασίας αναφέρομαι στην ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών μονάδων. Πιο συγκεκριμένα στην ανακύκλωση γυαλιού, μέταλλου, αλουμινίου και κορδελών των κρυσταλλικών (c-Si) φωτοβολταϊκών μονάδων, εκτός από το πυρίτιο που έχω ήδη αναφέρει στο 3^ο κεφάλαιο και στην ανακύκλωση των ημιαγώγιμων υποστρωμάτων των φωτοβολταϊκών μονάδων λεπτού υμενίου (thin film) με τις διάφορες διαδικασίες τους.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο κύκλος ζωής ενός φωτοβολταϊκού πάνελ ξεκινάει από εκεί που ακόμα δεν είχε συγκεκριμένη μορφή και φτάνει στο τέλος του προϊόν. Πιο συγκεκριμένα στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα αναλυθούν τα στάδια παραγωγής ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου και θα δοθεί ιδιαίτερη έμφαση στην ανακύκλωση κάθε στοιχείου που χρησιμοποιήθηκε στα στάδια παρασκευής του φωτοβολταϊκού πάνελ. Ιδιαίτερης σημασίας είναι η αξιοποίηση κάθε συστατικού που χρησιμοποιήθηκε αλλά κυρίως του πυριτίου, του οποίου η παρασκευή και χρήση είναι ιδιαίτερα επίπονη αλλά και το πυρίτιο (Si) ως στοιχείο δεν είναι ανεξάντλητο.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | |
|---|--------|
| I. ΠΡΟΛΟΓΟΣ..... | σελ.1 |
| II. ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | σελ.2 |
| Ιστορική Ανάδρομη Του Φωτοβολταϊκού Φαινομένου..... | σελ.6 |
| III. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ (Φ/Β) | |
| Εισαγωγή..... | σελ.8 |
| 1.1. Γενικά Για Τα Φωτοβολταϊκά (Φ/Β)..... | σελ.8 |
| 1.1.1. Τι Είναι Τα Φωτοβολταϊκά..... | σελ.8 |
| 1.1.2. Οι Ηλεκτρικές Ανάγκες Που Καλύπτουν Τα Φωτοβολταϊκά..... | σελ.8 |
| 1.2. Πώς Λειτουργούν Τα Φωτοβολταϊκά (Φ/Β)..... | σελ.9 |
| 1.2.1. Η Βασική Λειτουργία Των ΦΒ (Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο)..... | σελ.9 |
| 1.2.2. Ηλιακή Ενέργεια..... | σελ.10 |
| 1.2.3. Ηλιακές κυψέλες..... | σελ.10 |
| 1.2.4. Ηλιακά Στοιχεία Πυριτίου..... | σελ.13 |
| 1.2.5. Οι τύποι των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων..... | σελ.14 |
| 1.2.6. Εξοικείωση με την ορολογία..... | σελ.16 |
| 1.3. Κατηγορίες/Εφαρμογές Των ΦΒ Συστημάτων..... | σελ.17 |
| 1.3.1. Α) Τα Απομονωμένα ΦΒ συστήματα..... | σελ.17 |
| 1.3.1.1. Αυτόνομα ΦΒ συστήματα..... | σελ.17 |
| 1.3.1.2. Υβριδικά ΦΒ συστήματα..... | σελ.20 |
| 1.3.2. Β) ΦΒ συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο..... | σελ.21 |
| 1.3.3. Όλες Οι Κατηγορίες ΦΒ Συστημάτων Συνοπτικά..... | σελ.23 |
| 1.4. Απόδοση Φωτοβολταϊκού Συστήματος..... | σελ.23 |
| 1.4.1. Η Ελληνική Πραγματικότητα..... | σελ.24 |
| 1.4.2. Προσανατολισμός – Κλίση..... | σελ.25 |
| 1.4.3. Σκίαση..... | σελ.26 |
| 1.4.4. Η Απόδοση Των Φωτοβολταϊκών Στη Συννεφιά..... | σελ.27 |
| 1.4.5. Βασικά Μεγέθη..... | σελ.27 |
| 1.4.6. Περιβαλλοντικά Οφέλη..... | σελ.28 |
| 1.5. Τύποι Φωτοβολταϊκών (Φβ) Συστημάτων..... | σελ.28 |
| 1.5.1. Φωτοβολταϊκά PV Σε Στέγες Σπιτιών..... | σελ.28 |
| 1.5.2. Φωτοβολταϊκά PV Σε Συστήματα Στήριξης – ΦΒ Πάρκα..... | σελ.29 |
| 1.5.3. ΦΒ Συστήματα Σε Κτίρια..... | σελ.33 |
| 1.5.4. ΦΒ Συστήματα Σε Ουρανοξύστες..... | σελ.33 |
| 1.5.5. Τρισδιάστατα Φωτοβολταϊκά Κάθετης Διάταξης – Επαναστατική..... | |
| Τεχνολογία Του MIT..... | σελ.34 |
| 1.6. Νέα Είδη Κυττάρων - Κύτταρα Τρίτης Γενιάς (ΠΙΓ)..... | σελ.35 |
| 1.6.1. Συμπυκνωμένα Φωτοβολταϊκά..... | σελ.35 |
| 1.6.2. Ευέλικτα Κύτταρα..... | σελ.36 |
| 1.6.3. Κύτταρα Οργανικά / Υβριδικά..... | σελ.36 |
| 1.6.4. Κύτταρα Νανοςύρματα..... | σελ.37 |
| 1.6.5. Κύτταρα μικροκρυσταλλικά (a-Si/μc-Si)..... | σελ.37 |
| 1.7. Πλεονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων..... | σελ.38 |
| 1.8. Μειονεκτήματα Φωτοβολταϊκών Συστημάτων..... | σελ.38 |

IV. ΚΕΦ 2^ο - ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΟΣ PV PANEL

| | |
|---|--------|
| Εισαγωγή..... | σελ.39 |
| 2.1. Πρώτες Ύλες Παραγωγής Ημιαγωγών Πυριτίου (Πολυπυριτίου)..... | σελ.39 |
| 2.1.1. Πυρίτιο..... | σελ.39 |
| 2.1.1.1. Ιστορικά Στοιχεία Για Την Ανακάλυψη Του Πυριτίου..... | σελ.39 |
| 2.1.1.2. Γενικά Για Το Πυρίτιο..... | σελ.40 |
| 2.1.1.3. Παραγωγή Μεταλλουργικού Πυριτίου..... | σελ.40 |
| 2.1.1.3.1. Η ανθρακοθερμική μείωση του διοξειδίου του πυριτίου..... | σελ.40 |
| 2.1.1.3.2. Η Δύλιση Πυριτίου..... | σελ.42 |
| 2.1.2. Μονοσιλάνιο (Monosilane (SiH ₄))..... | σελ.43 |
| 2.1.3. Σιλάνιο (Silane)..... | σελ.43 |
| 2.2. Από Πυρίτιο Σε Πολυπυρίτιο- Παραγωγή Ημιαγωγών Πυριτίου..... | σελ.44 |
| 2.2.1. Διαδικασίες Παραγωγής Πολυπυριτίου..... | σελ.44 |
| 2.2.1.1. Η Διαδικασία Της Siemens..... | σελ.45 |
| 2.2.1.2. Η Union Carbide Διαδικασία..... | σελ.47 |
| 2.2.1.3. Η Ethyl Corporation Διαδικασία..... | σελ.47 |
| 2.3. Στάδια Παραγωγής Ενός Κρυσταλλικού PV Panel..... | σελ.49 |
| 2.3.1. Μετατροπή Από Πολυπυρίτιο Σε Ράβδους Πυριτίου Με Διαφορές Μεθόδους..... | σελ.49 |
| 2.3.1.1. Κρυσταλλικό Πυρίτιο..... | σελ.49 |
| 2.3.1.2. Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο..... | σελ.49 |
| 2.3.1.2.1. Μέθοδος Czochranski..... | σελ.50 |
| 2.3.1.2.2. Μέθοδος Float Zone (FZ)..... | σελ.51 |
| 2.3.1.3. Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο..... | σελ.52 |
| 2.3.1.3.1. Μέθοδος Bridgman..... | σελ.53 |
| 2.3.1.3.2. Μέθοδος Block Casting..... | σελ.54 |
| 2.3.2. Μετατροπή Από Ράβδους Πυριτίου Σε Κύβους Πυριτίου Με Την Διαδικασία Wafering & Slicing..... | σελ.54 |
| 2.3.3. Μετατροπή Από Κύβους Πυριτίου Σε Ηλιακή Κυψέλη (Wafer) Με Την Διαδικασία Wafering & Slicing..... | σελ.55 |
| 2.3.4. Μετατροπή Από Ηλιακή Γκοφρέτα (Solar Wafer) Σε Φωτοβολταϊκό Κύτταρο (Solar Cell)..... | σελ.56 |
| 2.3.5. Μετατροπή Από Ηλιακό Κύτταρο (Solar Cell) Σε Ηλιακό Συλλέκτη (Solar Panel)..... | σελ.57 |
| 2.3.6. Ταινίες Πυριτίου (Ribbon Silicon)- Λιγότερο Ενεργοβόρες Τεχνολογίες..... | σελ.58 |
| 2.3.6.1. Edge Defined Film Fed Growth Διαδικασία (EFG)..... | σελ.59 |
| 2.3.6.2. String Ribbon Διαδικασία (STR)..... | σελ.59 |
| 2.4. Στάδια Παραγωγής Ενός Λεπτού Υμενίου (Thin Film) PV Panel..... | σελ.59 |
| 2.4.1. Κύριες Διαδικασίες Παραγωγής Λεπτού Υμενίου (Thin Film) Pn Panel..... | σελ.60 |
| 2.4.1.1. Ρολό Σε Ρολό (Roll- To-Roll) Διαδικασία..... | σελ.60 |
| 2.4.1.2. PEVCD (Plasma) Διαδικασία..... | σελ.61 |
| 2.4.2. Κρυσταλλικό Πυρίτιο Λεπτού Υμενίου (C-Sitfc)..... | σελ.62 |
| 2.4.2.1. Άμορφου Πυριτίου Thin Film..... | σελ.64 |
| 2.4.2.2. Δισεληνοϊνδιούχου Χαλκού CIS Thin Film..... | σελ.65 |
| 2.4.2.3. Τελλουριούχου Κάδμιου CdTe Thin Film..... | σελ.66 |
| 2.4.2.4. Αρσενικούχου Γαλλίου GaAs Thin Film..... | σελ.68 |
| 2.5. Στάδια Παραγωγής Υβριδικών Τεχνολογιών..... | σελ.68 |
| 2.6. Συγκεντρωτικός Πίνακας Με Όλες Τις Τεχνολογίες..... | σελ.70 |

V. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο - ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΣΥΣΤΑΣΗ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

| | |
|---|--------|
| Εισαγωγή | σελ.71 |
| 3.1.Γενικά Για Την Ανακύκλωση Φωτοβολταϊκού Panel..... | σελ.71 |
| 3.2.Ανάκτηση Φωτοβολταϊκών Panel Από Εταιρίες Ανακύκλωσης Πυριτίου..... | σελ.72 |
| 3.3.Κατηγοριοποίηση Ανακυκλώσιμου Πυριτίου Φωτοβολταϊκών Μονάδων..... | σελ.73 |
| 3.3.1.Α) Ανακύκλωση Φωτοβολταϊκών Μονάδων..... | σελ.73 |
| 3.3.1.1.Αποσυναρμολόγηση Των Φωτοβολταϊκών Μονάδων..... | σελ.73 |
| 3.3.1.1.1.Μεθόδου Διαλυτοποίησης Με Νιτρικό Οξύ..... | σελ.74 |
| 3.3.1.1.2.Θερμική Διαδικασία – Πυρόλυση | σελ.74 |
| 3.3.1.1.3.Τρέχουσα Θερμική Διαδικασία..... | σελ.75 |
| 3.3.1.1.4.Νέα Αυτόματη/Μηχανική Θερμική Διαδικασία..... | σελ.76 |
| 3.3.1.1.5.Θερμική Διαδικασία Σε Παλιότερα ΦΒ Panel Από PVB “Pellworm”..... | σελ.78 |
| 3.3.1.1.6.Συμπέρασμα από την Αποσυναρμολόγηση Των Φωτοβολταϊκών Μονάδων..... | σελ.79 |
| 3.3.1.2.Καθαρισμός της επιφάνειας των φωτοβολταϊκών μονάδων..... | σελ.80 |
| 3.3.1.2.1.Χημική Διαδικασία..... | σελ.80 |
| 3.3.1.2.2.Η Επιλεκτική Χάραξη Μετά Την Χημική Διαδικασία Ολόκληρου ΦΒ Κύτταρου..... | σελ.80 |
| 3.3.1.2.3.Χημική Διαδικασία Σε Σπασμένα ΦΒ Κύτταρα..... | σελ.82 |
| 3.3.1.2.2.Η εφαρμογή της τεχνικής λέιζερ για καθαρισμό κυτταρικής επιφανείας ΦΒ..... | σελ.82 |
| 3.3.2.Β) Εσωτερική Ανακύκλωση..... | σελ.83 |
| 3.3.3.Γ) Τα Si-Απόβλητα..... | σελ.84 |

VI. ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο – ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

| | |
|---|--------|
| Εισαγωγή | σελ.85 |
| 4.1. Ανακύκλωση Κρυσταλλικών Φωτοβολταϊκών Μονάδων Πυριτίου(C-Si)... | σελ.85 |
| 4.1.1.Ανακύκλωση Γυαλιού..... | σελ.86 |
| 4.1.2.Ανακύκλωση Μεταλλικών Στοιχείων..... | σελ.87 |
| 4.1.2.1.Ανακύκλωση Frame Αλουμινίου..... | σελ.87 |
| 4.1.2.2.Ανακύκλωση Ribbon Και Wire..... | σελ.88 |
| 4.2. Ανακύκλωση Thin Film Φωτοβολταϊκών Μονάδων..... | σελ.88 |
| 4.2.1.Στρατηγικές Ανακύκλωσης Thin Film..... | σελ.89 |
| 4.2.1.1.Συγκεντρωτική Στρατηγική Ανακύκλωσης Thin Film..... | σελ.89 |
| 4.2.1.2.Αποκεντρωμένη Στρατηγική Ανακύκλωσης Thin Film..... | σελ.89 |
| 4.2.1.3.Εταιρίες Που Χρησιμοποιούν Αποκεντρωμένες Στρατηγικές Ανακύκλωσης Σε Thin Film Μονάδες Cdte & Cis..... | σελ.94 |
| 4.3.Μελλοντικές Εξελίξεις Στην Ανακύκλωση Φωτοβολταϊκών Πλαισίων..... | σελ.96 |

| | |
|-----------------------|---------------|
| VII.ΠΗΓΕΣ..... | σελ.97 |
|-----------------------|---------------|

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Ιστορία της ανακάλυψης του φωτοβολταϊκού φαινομένου

Ζούμε μια περίοδο όπου η διόγκωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων σε συνδυασμό με την εξάντληση των ορυκτών ενεργειακών πόρων και τα τεράστια βήματα στην τεχνολογία των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων κάνουν πλέον εφικτή την χρήση τους. Πώς φτάσαμε όμως ως εδώ και ποιά είναι η ιστορία των φωτοβολταϊκών;

Η πρώτη γνωριμία του ανθρώπου με το φωτοβολταϊκό φαινόμενο έγινε το 1839 όταν ο Γάλλος φυσικός **Edmond Becquerel** (1820 - 1891) ανακάλυψε το φωτοβολταϊκό φαινόμενο κατά την διάρκεια πειραμάτων του με μια ηλεκτρολυτική επαφή φτιαγμένη από δύο μεταλλικά ηλεκτρόδια.

Το επόμενο σημαντικό βήμα έγινε το 1876 όταν οι **Adams** (1836 - 1915) και ο φοιτητής του **Day** παρατήρησαν ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού ρεύματος παραγόταν από το σελήνιο (Se) όταν αυτό ήταν εκτεθειμένο στο φως.

Το 1918 ο Πολωνός **Czochralski** (1885 - 1953) πρόσθεσε την μέθοδο παραγωγής ημιαγωγού μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) με την σχετική έρευνα του και η οποία μάλιστα χρησιμοποιείται βελτιστοποιημένη ακόμα και σήμερα.

Μια σημαντική ανακάλυψη έγινε επίσης το 1949 όταν οι **Mott** και **Schottky** ανέπτυξαν την θεωρία της διόδου σταθερής κατάστασης. Στο μεταξύ η κβαντική θεωρία είχε ξεδιπλωθεί. Ο δρόμος πλέον για τις πρώτες πρακτικές εφαρμογές είχε ανοίξει.

Το πρώτο ηλιακό κελί ήταν γεγονός στα εργαστήρια της Bell το 1954 από τους **Chapin, Fuller και Pearson**. Η απόδοση του ήταν 6% εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

Τα πρώτα σημαντικά φωτοβολταϊκά συστήματα, Εξέλιξη στις τιμές και κόστος

Τέσσερα χρόνια μετά, το **1958** η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών συστημάτων προσαρτάται στον χώρο των διαστημικών εφαρμογών όταν τοποθετήθηκε ένα αυτόνομο φωτοβολταϊκό σύστημα στον δορυφόρο **Vanguard I**. Το σύστημα αυτό λειτούργησε επιτυχώς για 8 ολόκληρα χρόνια και ήταν ένα από τα πρώτα φωτοβολταϊκά συστήματα.



δορυφόρος *vanguard*

Από το χρονικό αυτό σημείο και μετά, τα φωτοβολταϊκά συστήματα άρχισαν να ενσωματώνονται σταδιακά σε διάφορες εφαρμογές και η τεχνολογία να βελτιώνεται συνεχώς.

Το **1962** η μεγαλύτερη ΦΒ εγκατάσταση στον κόσμο γίνεται στην Ιαπωνία από την **Sharp**, σε έναν φάρο. Η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος είναι 242Wp. Τα φωτοβολταϊκά ξεκίνησαν λοιπόν να κάνουν την εμφάνιση τους αλλά λόγω του υψηλού κόστους παραγωγής η εφαρμογή τους ήταν δυνατή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων. Η έρευνα όμως προχωρούσε και η απόδοση των ΦΒ συνεχώς βελτιωνόταν. Κυριότερος πελάτης των φωτοβολταϊκών τις δεκαετίες που ακολούθησαν είναι η NASA.

Οι υψηλές τιμές στα φωτοβολταϊκά ήταν ο σημαντικότερος λόγος που δεν υπήρχε περισσότερο ενθουσιώδης αποδοχή από την αγορά. Ενδεικτικά η τιμή των φωτοβολταϊκών ξεκινάει από τα **500\$** ανά εγκατεστημένο Watt το 1956, ενώ μετά από 14 χρόνια, το 1970 αγγίζει τα **100\$/Watt**. Το 1973 οι βελτιώσεις στις μεθόδους παραγωγής φέρνουν το κόστος των φωτοβολταϊκών στα **50\$/Watt**.

Η πρώτη εγκατάσταση PV που φτάνει στα επίπεδα του 1MW (μεγαβάτ) γίνεται στην Καλιφόρνια το **1980** από την ARCO Solar χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα και σύστημα παρακολούθησης της τροχιάς του ηλίου 2 αξόνων (dual-axis trackers). Η εξέλιξη αρχίζει πλέον να γίνεται με ταχύτερους ρυθμούς. Το **1983** η παγκόσμια παραγωγή ΦΒ φτάνει τα 22MW και ο συνολικός τζίρος τα 250.000.000\$.

Το **1999** η εταιρία Spectrolab σε συνεργασία με το NREL αναπτύσσουν ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο με απόδοση 32,3%! Το στοιχείο αυτό είναι συνδυασμός τριών υλικών (στρώσεων) και ειδικό για εφαρμογές σε συγκεντρωτικά συστήματα CPV. Την ίδια χρονιά το ρεκόρ στην απόδοση των Thin Films φτάνει στο 18.8%. Η παραγωγή όλων των τεχνολογιών των ΦΒ πάνελ φτάνει συνολικά τα 200 MegaWatt.

Το **2004** η πορεία πια είναι ασταμάτητη. Η μαζική είσοδος μεγάλων εταιρειών στον χώρο των ΦΒ φέρνει την μαζική παραγωγή και αυτή με την σειρά της την **τιμή των διασυνδεδεμένων συστημάτων** στα 6,5 ευρώ/Wp. Γερμανία και Ιαπωνία κυριαρχούν στην κατασκευή ΦΒ πάνελ και πλέον σε όλες τις αναπτυσσόμενες χώρες αρχίζουν, με τον έναν (παραγωγή εξοπλισμού) ή τον άλλον τρόπο (κατασκευή ΦΒ εγκαταστάσεων), να υιοθετούν τις τεχνολογίες των φωτοβολταϊκών και να τις παγιώνουν στην συνείδηση των επενδυτών αλλά και των καταναλωτών ενέργειας. Η συνολική παραγωγή το 2004 έφτασε τα **1.200 MegaWatt** ΦΒ στοιχείων ενώ ο τζίρος της ίδιας χρονιάς άγγιξε τα **6.500.000.000\$**.

Σήμερα με οικονομίες μεγάλης κλίμακας έχουν επιτευχθεί μεγάλες αποδόσεις στα κρυσταλλικά κυρίως υλικά και αρκετές χώρες με πρωτοπόρες την Γερμανία και την Ιαπωνία έχουν ήδη επενδύσει τεράστια κονδύλια με σκοπό την ευρύτερη εκμετάλλευση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας.

Ήδη βέβαια οι χώρες αυτές έχουν αρχίσει και απολαμβάνουν τους καρπούς της εξελιγμένης τεχνολογίας τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ (Φ/Β)

Εισαγωγή

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρομαι γενικά για τα φωτοβολταϊκά (ΦΒ) συστήματα. Και πιο συγκεκριμένα αναφέρομαι στο τι είναι τα φωτοβολταϊκά συστήματα, πως λειτουργούν, από τα μέρη που αποτελούνται καθώς και πόσο απαραίτητες είναι οι ηλιακές κυψέλες σε ένα φωτοβολταϊκό σύστημα.

Επισημάνω επίσης πόσο απαραίτητη είναι η ηλιακή ενέργεια για να δουλέψουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα καθώς και ποιες περιοχές της χώρας μας είναι πιο αποδοτικές.

Στη συνέχεια αναφέρομαι στους τύπους των φωτοβολταϊκών συστημάτων (μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά, λεπτού υμένα, οργανικά κλπ) και στους διάφορους τύπους που υπάρχουν στην αγορά. Υπάρχει μεγάλη γκάμα επιλογής φωτοβολταϊκών στην αγορά για να καλύψουν τις ανάγκες όλων.

Στο τέλος του κεφαλαίου αυτού γράφω για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ΦΒ συστημάτων.

1.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ (Φ/Β)

1.1.1. Τι Είναι Τα Φωτοβολταϊκά

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα αποτελούν μια από τις εφαρμογές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με τεράστιο ενδιαφέρον για την Ελλάδα. Εκμεταλλευόμενα το φωτοβολταϊκό φαινόμενο, τα Φ/Β συστήματα παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από την ηλιακή ενέργεια. Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο αφορά περιληπτικά την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων των φωτοβολταϊκών στοιχείων και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στα φωτοβολταϊκά στοιχεία οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία μετατρέπουν το ηλιακό φως σε ηλεκτρισμό. Η λέξη βολτ προέρχεται από τον Alessandro Volta ο οποίος ήταν ένας από τους πρωτοπόρους στην μελέτη του ηλεκτρισμού. Ονομάζονται συχνά και ηλιακές κυψέλες και είναι ήδη ένα σημαντικό μέρος στη ζωή μας. Τις πιο απλές εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας τις συναντούμε στους υπολογιστές τσέπης και στα ρολόγια χειρός. Πιο σύνθετα συστήματα μας βοηθούν να αντλούμε νερό, να δίνουμε ηλεκτρικό ρεύμα σε απομακρυσμένους επικοινωνιακούς σταθμούς, όπως και να φωτίζουμε το σπίτι μας και να λειτουργούμε τις οικιακές μας συσκευές. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα φωτοβολταϊκά συστήματα είναι η πιο οικονομική μορφή ηλεκτρισμού.

1.1.2. Οι Ηλεκτρικές Ανάγκες Που Καλύπτουν Τα Φωτοβολταϊκά

Οι ηλεκτρικές ανάγκες που καλύπτουν τα φωτοβολταϊκά είναι: ο φωτισμός, οι τηλεπικοινωνίες, η ψύξη, η ηχητική κάλυψη και γενικά οποιαδήποτε ουσιαστικά ενεργειακή ανάγκη μπορεί να καλυφθεί από ένα κατάλληλα σχεδιασμένο φωτοβολταϊκό σύστημα.

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να ξέρει κανείς για τα φωτοβολταϊκά είναι ότι παράγουν συνεχές ρεύμα. Αυτό σημαίνει είτε ότι τα χρησιμοποιούμε με συσκευές συνεχούς ρεύματος είτε μετατρέπουμε αυτό το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο 230 V (σε ρεύμα ίδιο με της ΔΕΗ δηλαδή) με τη βοήθεια κάποιων ηλεκτρονικών συσκευών.

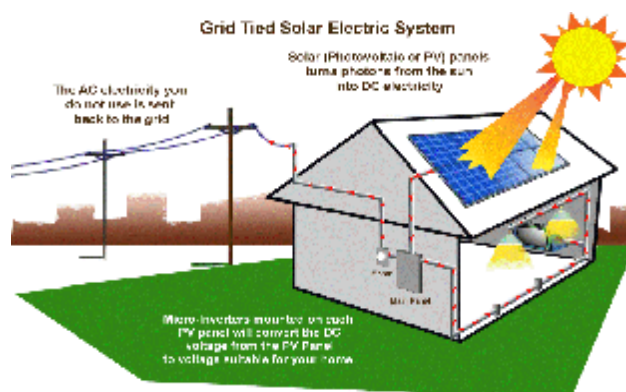
1.2. ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΥΝ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ (Φ/Β)

1.2.1. Η Βασική Λειτουργία Των Φωτοβολταϊκών (Το Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο)

Το ηλιακό φως είναι ουσιαστικά μικρά πακέτα ενέργειας που ονομάζονται φωτόνια. Τα φωτόνια του ηλιακού φωτός περιέχουν διαφορετικά ποσά ενέργειας ανάλογα με το μήκος κύματος του ηλιακού ενεργειακού φάσματος. Το γαλάζιο χρώμα ή το υπεριώδες π.χ. έχουν περισσότερη ενέργεια από το κόκκινο ή το υπέρυθρο. Όταν λοιπόν τα φωτόνια προσκρούσουν σε ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο (που είναι ουσιαστικά ένας ημιαγωγός), άλλα ανακλώνται, άλλα το διαπερνούν και άλλα απορροφώνται από τα φωτοβολταϊκά. Αυτά τα τελευταία φωτόνια είναι που παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα (ενέργεια). Τα φωτόνια αυτά αναγκάζουν τα ηλεκτρόνια των φωτοβολταϊκών στοιχείων να μετακινηθούν σε άλλη θέση. Η βασική θεωρία του ηλεκτρισμού είναι η κίνηση των ηλεκτρονίων από το θετικό προς το αρνητικό. Σ' αυτή την απλή αρχή της φυσικής λοιπόν βασίζεται μια από τις πιο εξελιγμένες τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρισμού στις μέρες μας.

Τα φωτοβολταϊκά πλαίσια – φωτοβολταϊκά πάνελ έχουν ως βασικό μέρος το ηλιακό στοιχείο (solar cell) που είναι ένας κατάλληλα επεξεργασμένος ημιαγωγός λεπτού πάχους σε επίπεδη επιφάνεια. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ηλεκτρική τάση και με την κατάλληλη σύνδεση σε φορτίο παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Τα ηλιακά φωτοβολταϊκά στοιχεία ομαδοποιούνται κατάλληλα και συγκροτούν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια ή ηλιογεννήτριες (pv-modules), τυπικής ισχύος από 10 W έως 300 W. Οι φωτοβολταϊκές γεννήτριες συνδέονται ηλεκτρολογικά μεταξύ τους και δημιουργούνται οι φωτοβολταϊκές συστοιχίες (pv-arrays).



1.2.2. Ηλιακή Ενέργεια

Η ηλιακή ενέργεια αποτελεί μία ανεξάντλητη μορφή ενέργειας. Έτσι όταν υλοποιηθεί ένα σύστημα εκμετάλλευσης της για την παραγωγή χρήσιμης ενέργειας (ηλεκτρική ή θερμική για παράδειγμα), η πρώτη ύλη-καύσιμο είναι δωρεάν και δεν υποβάλλεται ποτέ στις διακυμάνσεις των αγορών ενέργειας. Επιπλέον, η ηλιακή ενέργεια αντιπροσωπεύει μία καθαρή μορφή ενέργειας εν συγκρίσει με την ενέργεια που προέρχεται από ορυκτά

καύσιμα, οι ρύποι από τη χρήση της οποίας συμβάλλουν στην ανάπτυξη του φαινομένου του θερμοκηπίου. Έτσι η ηλιακή ενέργεια μπορεί εν δυνάμει να αποτελέσει μία σημαντική μορφή ενέργειας προς εκμετάλλευση.

Γενικότερα, η ηλιακή ενέργεια έχει ζωτική σημασία για την διατήρηση της ζωής στη γη και αποτελεί τη βάση για όλες σχεδόν τις άλλες μορφές ενέργειας που χρησιμοποιούμε.

Με τον όρο ηλιακή ενέργεια αναφερόμαστε συνήθως στην ενέργεια του ήλιου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί απευθείας για την παραγωγή κυρίως θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Το ποσό της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης είναι πραγματικά τεράστιο, όλη η ενέργεια που βρίσκεται αποθηκευμένη στα παγκόσμια κοιτάσματα άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου αντιστοιχεί σε ποσότητα ενέργειας που προκύπτει από μόλις 20 ημέρες ηλιοφάνειας.

Πέρα από τη γήινα ατμόσφαιρα, η ενέργεια του ήλιου είναι περίπου 1,3kW/τ.μ. Περίπου ένα τρίτο (1/3) αυτής της ενέργειας ανακλάται πίσω στο διάστημα και μία ποσότητα της απορροφάται από την ατμόσφαιρα. Όταν η ηλιακή ενέργεια φτάσει στην ατμόσφαιρα, η ισχύς της μειώνεται σε περίπου 1kW/τ.μ. κατά τις μεσημβρινές ώρες σε καθαρό ουρανό. Κατά μέσο όρο, λαμβάνοντας υπόψη όλη την επιφάνεια του πλανήτη, κάθε τ.μ. δέχεται περίπου 4,2kWh την ημέρα. Τα ποσοστά ενέργειας είναι υψηλότερα σε επιφάνειες όπως έρημοι όπου μπορούν να ξεπεράσουν τις 6kWh/τ.μ. την ημέρα.

1.2.3. Ηλιακές κυψέλες

Οι ηλιακές κυψέλες είναι συσκευές που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια, είτε άμεσα μέσω του φωτοβολταϊκού φαινομένου, είτε έμμεσα με αρχική μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα ή χημική ενέργεια. Οι πιο κοινές μορφές των ηλιακών κυψελών βασίζονται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο (Φ/Β).

Όταν το φως του ήλιου προσπίπτει σε μία κυψέλη παράγεται συνεχές ρεύμα και θέτοντας ένα ηλεκτρικό φορτίο από την άλλη, το ρεύμα αυτό μπορεί να αξιοποιηθεί. Πάντως, δεν μπορεί να μετατραπεί όλο το φως σε ηλεκτρισμό, καθώς οι Φ/Β κυψέλες χρησιμοποιούν κυρίως το ορατό φως. Μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας κείται στην υπέρυθη ή θερμή και την υπεριώδη ακτινοβολία, γεγονός που εξηγεί τις χαμηλές τιμές των θεωρητικών αποδοτικότητων μετατροπής.

Οι φωτοβολταϊκές κυψέλες που είναι εγκατεστημένες σήμερα βασίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες :

- Τεχνολογία παραγωγής ημιαγωγικών υλικών με κρυσταλλική δομή, την πλειοψηφία των οποίων αποτελεί το πυρίτιο.
- Τεχνολογία λεπτών υμενίων (thin film), λόγω του ότι το πάχος των στοιχείων είναι της τάξης των μm.

- Άλλες τεχνολογίες που σκοπό έχουν να γίνει λιγότερο ενεργοβόρα η παραγωγή του καθαρού πυριτίου, περιορίζοντας τις απώλειες σε ακριβό καθαρό πυρίτιο (π.χ. μέθοδος EFG, edge defined film fed growth και μέθοδος String Process).

Λειτουργία των ηλιακών κυψελών

Όπως αναφέρθηκε τα ηλιακά στοιχεία είναι δίοδοι με τη μορφή ενός δίσκου (δηλαδή η ένωση p-n εκτείνεται σε όλο το πλάτος του δίσκου), που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία. Κάθε φωτόνιο της ακτινοβολίας με ενεργεία ίση ή μεγαλύτερη από το ενεργειακό διάκενο του ημιαγωγού, έχει τη δυνατότητα να απορροφηθεί σε ένα χημικό δεσμό και να ελευθερώσει ένα ηλεκτρόνιο. Έτσι, δημιουργείται όσο διαρκεί η ακτινοβολία μια περίσσεια από ζεύγη φορέων (ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές), πέρα από τις συγκεντρώσεις που αντιστοιχούν στις συνθήκες ισορροπίας.

Οι φορείς αυτοί, καθώς κυκλοφορούν στο στερεό (και εφόσον δεν επανασυνδεθούν με φορείς αντίθετου πρόσημου), μπορεί να βρεθούν στην περιοχή της ένωσης p-n οπότε θα δεχθούν την επίδραση του ενσωματωμένου ηλεκτροστατικού της πεδίου. Έτσι, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου n και οι οπές εκτρέπονται προς το τμήμα τύπου p, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια διαφορά δυναμικού ανάμεσα στους ακροδέκτες των δύο τμημάτων της διόδου. Δηλαδή, η διάταξη αποτελεί μια πηγή ηλεκτρικού ρεύματος, που διατηρείται όσο διαρκεί η πρόσπτωση του ηλιακού φωτός πάνω στην επιφάνεια του στοιχείου.

Συνεπώς, αν κατασκευαστεί ένα κύκλωμα είναι δυνατόν να παραχθεί ηλεκτρική ισχύς από τις κυψέλες αφού τα ελεύθερα ηλεκτρόνια πρέπει να διέλθουν μέσω του φορτίου για τον επανασυνδυασμό τους με τις θετικές οπές.

Η εκδήλωση της διαφοράς δυναμικού ανάμεσα στις δύο όψεις του φωτιζόμενου δίσκου, η οποία αντιστοιχεί σε ορθή πόλωση της διόδου, ονομάζεται φωτοβολταϊκό φαινόμενο. Η αποδοτική λειτουργία των ηλιακών φωτοβολταϊκών στοιχείων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζεται στην πρακτική εκμετάλλευση του φωτοβολταϊκού φαινομένου. Η ποσότητα της διαθέσιμης ισχύος από μια Φ/Β συσκευή καθορίζεται από:

- Τον τύπο και την επιφάνεια του υλικού.
- Την ένταση του ηλιακού φωτός (έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία)
- Και το μήκος κύματος του ηλιακού φωτός

Ο λόγος της ηλεκτρικής ενεργείας που παράγεται από μία ηλιακή κυψέλη προς την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία είναι γνωστός ως αποδοτικότητα της κυψέλης

Προκειμένου να παραχθεί ωφέλιμη ισχύς, οι κυψέλες συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους σε σειρά ή παράλληλα, ενώ μερικές φορές κόβονται σε μικρότερα τεμάχια.

Η κοπή των κυψελών γίνεται για δύο κυρίως λόγους. Ο πρώτος είναι για την αύξηση της τάσης. Εάν απαιτείται μόνο λίγο ρεύμα σε υψηλή τάση, τότε κόβοντας τις κυψέλες στη μέση και με την καλωδίωσή τους σε σειρά μπορεί να δημιουργηθεί ένα μικρό πλαίσιο. Κάθε κομμάτι θα παράγει την ίδια τάση με ολόκληρη την κυψέλη, αλλά με λιγότερο ρεύμα (για παράδειγμα, εάν μια κυψέλη κοπεί στη μέση, το κάθε ήμισυ θα παράγει περίπου 0,5 Volts και 1,5 Amps). Ο άλλος λόγος για την κοπή των κυψελών είναι για την αύξηση της πυκνότητας συσκευασίας τους.

Οι κυψέλες με εγκοπές δημιουργούν μη ωφέλιμη επιφάνεια στις γωνίες τους και αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί κόβοντας τις κυψέλες σε ορθογώνια παραλληλόγραμμα. Το ίδιο γίνεται μερικές φορές και σε εφαρμογές όπου είναι

κρίσιμες οι επιδόσεις και ο χώρος περιορισμένος. Τα μειονεκτήματα της κοπής των κυψελών είναι ότι με αυτή τη διεργασία συχνά σπαταλούνται τμήματα της κυψέλης, ενώ είναι ιδιαίτερα πιθανό ένα ποσοστό κυψελών να υποστεί βλάβη κατά την κοπή.

Συνδεσμολογία

Οι κυψέλες συνδέονται ηλεκτρικά μεταξύ τους για να συστήσουν μια συνδεσμολογία, όπως συχνά ονομάζεται αυτή η διάταξη, αυτό γίνεται εν γένει εργοστασιακά με ειδικές μηχανές. Είναι σημαντικό να μην υφίστανται φθορές οι κυψέλες κατά τη διεργασία, να είναι ανθεκτικές οι συνδέσεις, και να διατηρείται το κατάλληλο διάστημα μεταξύ των κυψελών, Εάν οι κυψέλες ακουμπούν μεταξύ τους μπορεί να προκύψουν προβλήματα ηλεκτρικών βραχυκυκλωμάτων καθώς επίσης και προβλήματα σκίασης, ενώ αυξάνεται η πιθανότητα ραγίσματός τους. Τα υπερβολικά μεγάλα κενά μεταξύ των κυψελών σπαταλούν πολύτιμη επιφάνεια.

Στη βιομηχανία ηλιακής ενέργειας, πολλοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν κράματα συγκόλλησης κασσίτερου/μολύβδου (Sn/Pb) για διασυνδέσεις, με Sn60 και Sn62 ως πιο δημοφιλείς επιλογές. Κράματα Tin/ασημί (Sn/Ag) χρησιμοποιούνται περιστασιακά και ορισμένοι κατασκευαστές ερευνούν τη χρήση του κασσίτερου/ ασημί /χαλκού (Sn/Ag/Cu - SAC) κράματα, ειδικά SAC305. Το πάχος των κολλήσεων μπορεί να είναι μέχρι 1 mil (0,001 ").



tabbing κορδέλα

Υπάρχουν δύο τύποι tabbing κορδέλας (εικόνα 1) η tabbing και η bussing.

Η Tabbing κορδέλα, που μερικές φορές ονομάζεται PV κορδέλα, είναι το υλικό διασύνδεσης που χρησιμοποιείται σε όλη αυτή τη διαδικασία. Η PV κορδέλα γίνεται από κολλήσεις με λεπτό υμένιο οξυγόνο δωρεάν υψηλής αγωγιμότητας (OFHC) κορδέλα χαλκού, το οποίο είναι "μαλακά νεκρό". Η ταινία μεταφέρει το ρεύμα από κάθε ηλιακών κυττάρων σε ένα bussing.

Η bussing κορδέλα είναι μια μεγαλύτερη κορδέλα tabbing που ασκεί εξουσία από τις συστάδες ηλιακών κυττάρων στο κουτί σύνδεσης της ενότητας (ισχύς). Το πλάτος της είναι 5-mm και μεταφέρει ρεύμα στο κουτί σύνδεσης της ενότητας για την τελική έξοδο.



εικόνα 1

Η Φωτοβολταϊκή κορδέλα διασύνδεση των κυττάρων, που ονομάζεται stringing κορδέλα (εικόνα 2), συνδέει μεμονωμένα κύτταρα PV το ένα με το άλλο σε ένα σύμπλεγμα και παρέχει ρεύμα στη bussing κορδέλα. Η Stringing κορδέλα είναι συνήθως 2-mm πλάτος.



εικόνα 2

Η σύνδεση των μεμονωμένων κύτταρα PV σε μια φωτοβολταϊκή μονάδα ονομάζεται ηλιακό κύτταρο tabbing ή ηλιακή κυττάρου διασύνδεση κλωστή. Στη διαδικασία αυτή, τα κύτταρα συνδέονται ηλεκτρικά με χρήση stringing κορδέλα. Το συγκολλητικό λεπτού υμένιου tabbing κορδέλα βυθίζεται ή ψεκαζεται με ροή. Η ροή με αλκοολική βάση είναι κοινή για αυτή την εφαρμογή, αν και οι πτητικές οργανικές ενώσεις χωρίς συλλιπάσματα χρησιμοποιούνται επίσης. Ένα μαχαίρι αέρος χρησιμοποιείται συχνά για να αποβάλει την υπερβολικής ροής. Όπως και στην SMT διαδικασία συναρμολόγησης, υπάρχει επίσης η δυνατότητα εκτύπωσης ροή ή κολλήσεις πάστα πάνω στο ίδιο το κελί PV. Μία no-clean πάστα με λίγη ή καθόλου ροή υπόλοιπο είναι το καλύτερο, δεδομένου ότι μειώνει τα βήματα της διαδικασίας και τις διευθύνσεις θέματα αξιοπιστίας. Αυτό το στάδιο συγκόλλησης εκτύπωση με πάστα είναι ταυτόσημη με εκείνη κατά τη διαδικασία συναρμολόγησης της επιφάνεια προσάρτησης.

Οι κολλήσεις reflow τυπικά διεξάγεται στο tabbing μηχάνημα. Η ταινία τοποθετείται στο πλέγμα συλλέκτη (το υπόστρωμα). Δεδομένου ότι το δίκτυο συλλέκτη είναι επιμεταλλωμένο με ασήμι, τη διασύνδεση κάνει μία κόλλα που περιέχει ασήμι. Η συγκόλληση συχνά πραγματοποιείται μέσω ακτινοβολίας υπερύθρων (IR) ενέργεια. Σε ορισμένες περιπτώσεις, χρησιμοποιούνται αυτοματοποιημένη συγκόλληση σίδερα.

1.2.4. Ηλιακά Στοιχεία Πυρίτιου

Το υλικό που χρησιμοποιείται ευρύτατα στη βιομηχανία των Φ/Β κυψελίδων, είναι το Πυρίτιο (Si). Το πυρίτιο είναι ένας ημιαγωγός με έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1,1 eV. Αν και οι δύο αυτές ιδιότητες (έμμεσο και σχετικά μικρή τιμή διακένου) δεν είναι ιδεώδεις για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, το πυρίτιο είναι ο ημιαγωγός που κυριάρχησε από την αρχή αλλά μέχρι και σήμερα, σαν υλικό κατασκευής των ηλιακών στοιχείων. Η αιτία είναι ίσως ότι το πυρίτιο έχει ήδη πλούσιο παρελθόν 3-4 δεκαετιών σαν το κύριο υλικό των διατάξεων των ημιαγωγών της ηλεκτρονικής. Επομένως οι ιδιότητες του είναι καλά μελετημένες και το υλικό κυκλοφορεί στην αγορά σε αρκετά μεγάλες ποσότητες, με ικανοποιητική καθαρότητα

και τελειότητα κρυσταλλικής δομής, με τη χρησιμοποίηση τεχνολογικών μεθόδων δοκιμασμένων με επιτυχία.

Για να έχει το πυρίτιο, αλλά και κάθε άλλος κρυσταλλικός ημιαγωγός, ικανοποιητικές ιδιότητες για φωτοβολταϊκές και γενικότερα ηλεκτρονικές εφαρμογές (μεγάλη κινητικότητα, μεγάλο μήκος διάχυσης και μεγάλο χρόνο ζωής των φορέων-κυρίως των φορέων μειονότητας- πριν την επανασύνδεση τους) πρέπει να είναι πολύ μεγάλης καθαρότητας και το κρυσταλλικό τους πλέγμα να μην έχει αταξίες δομής.

Η πρώτη φάση του καθαρισμού του πυριτίου γίνεται με την ανάτξη και στη συνέχεια τη μετατροπή του μεταλλουργικού πυριτίου σε αέριο, τριχλωροσιλάνιο ($SiHCl_3$) που αποχωρίζεται από τις διάφορες προσμίξεις με κλασματική απόσταξη. Το μεταλλουργικό πυρίτιο έχει καθαρότητα περίπου 99,6% που είναι πολύ καλή για τις συνηθισμένες τεχνικές χρήσεις, αλλά εντελώς ανεπαρκής για ηλεκτρονικές εφαρμογές. Στη συνέχεια, το τριχλωροσιλάνιο ανάγεται με υδρογόνο και συμπυκνώνεται πυρίτιο ποιότητας ημιαγωγού ή ηλεκτρονικής, που τήκεται και να κρυσταλλώνεται με ακόμη μεγαλύτερη καθαρότητα (της τάξης του 99,99999%), σε κυλινδρική μονοκρυσταλλική μορφή, διαμέτρου περίπου 10 cm.

Από τον κύλινδρο κόβονται δίσκοι, πάχους περίπου 0,5 mm, οι οποίοι λειαίνονται με επιμέλεια για την απομάκρυνση των ελαττωμάτων της κοπής και στη συνέχεια διαμορφώνονται σε διόδου p-n με διάχυση προσμίξεων. Το τελικό στάδιο είναι η συγκόλληση των ηλεκτροδίων στην εμπρός και πίσω όψη του δισκίου, η αλληλοσύνδεση των ετοιμών στοιχείων, η κάλυψη της εμπρός επιφάνειας τους με ένα αντανακλαστικό επίστρωμα για τη μείωση της ανάκλασης του φωτός και η στεγανή συσκευασία σε πλαίσια.

1.2.5.Οι τύποι των Φωτοβολταϊκών Συστημάτων

Τα Φ/Β στοιχεία πυριτίου διακρίνονται ανάλογα με τη δομή του βασικού υλικού ή τον τρόπο παρασκευής. Οι διαφορετικοί τύποι είναι οι εξής:

A. Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Τα κελιά μονοκρυσταλλικού πυριτίου κατασκευάζονται από έναν μεγάλο κρυσταλλικό δίσκο (wafer) πυριτίου. Τα κελιά αυτά κατασκευάζονται με μία διαδικασία γνωστή ως διαδικασία “Czochralski”. Χαρακτηρίζονται από υψηλή απόδοση, της τάξης του 15-18% αλλά και υψηλότερο κόστος. Τα ηλιακά κελιά κατασκευάζονται σε σχήμα κύκλου, ή σχεδόν κύκλου καθώς και τετράγωνα. Τα κυκλικά ηλιακά κελιά είναι φθηνότερα από τα υπόλοιπα επειδή είναι λιγότερα τα υπολείμματα κατά την κατασκευή τους. Ωστόσο δε χρησιμοποιούνται συχνά στην κατασκευή φωτοβολταϊκών πάνελ επειδή δεν χρησιμοποιείται αποδοτικά μία επιφάνεια, λόγω των κενών μεταξύ τους όταν τοποθετούνται δίπλα το ένα στο άλλο. Αποτελούν όμως μία καλή προοπτική για ενσωμάτωση σε κτίρια όταν απαιτείται μερική διαπερατότητα στο φως. Το χρώμα τους είναι συνήθως βαθύ μπλε έως μαύρο όταν διαθέτουν αντί-ανακλαστική (AR) επίστρωση ή γκρι (χωρίς αντί- ανακλαστική επίστρωση).

B. Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Τα κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι φθηνότερα από αυτά του μονοκρυσταλλικού πυριτίου αλλά και λιγότερο αποδοτικά. Όπως προκύπτει και από τον όρο, κατασκευάζονται από δίσκους (wafers) πυριτίου που κόβονται από τετραγωνισμένους ράβδους πυριτίου. Η μέθοδος κατασκευής ενός πολυκρυσταλλικού

κελιού απαιτεί πολύ μικρότερη ακρίβεια και κόστος σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά κελιά. Η απόδοση τους κυμαίνεται από 13% έως 16% και κατασκευάζονται συνήθως σε τετράγωνο σχήμα. Το χρώμα τους είναι συνήθως μπλε (με αντί-ανακλαστική επίστρωση) ή γκρι-ασπρί (χωρίς αντί-ανακλαστική επίστρωση).

Γ. Τεχνολογίες λεπτού υμενίου (thin-film)

Αρκετή έρευνα έχει διεξαχθεί τα τελευταία χρόνια για την τελειοποίηση μεθόδων κατασκευής ηλιακών κελιών με ημιαγωγούς πάχους μόλις μερικών μικρομέτρων, με στόχο την επίτευξη μίας εύλογης απόδοσης με τη χρήση μικρής ποσότητας πυριτίου. Τα κελιά αυτά έχουν μικρότερη απόδοση από τα κελιά κρυσταλλικού πυριτίου (της τάξης του 5-7%) αλλά με αρκετά χαμηλότερο κόστος, ώστε να τα καθιστά ανταγωνιστικά. Συνήθως χαρακτηρίζονται από το έντονα σκούρο (σχεδόν μαύρο) χρώμα τους. Κυριότεροι αντιπρόσωποι της κατηγορίας αυτής αποτελούν τα παρακάτω:

Γ1. Κελιά άμορφου πυριτίου (amorphous-Si)

Αποτελούν την πιο συνηθισμένη μορφή και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε ηλεκτρονικά προϊόντα ευρείας κατανάλωσης (π.χ. υπολογιστές τσέπης). Το άμορφο πυρίτιο, η μη-κρυσταλλική μορφή του πυριτίου, μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα αγώγιμο υπόστρωμα σε ένα στρώμα πάχους μερικών μικρομέτρων δημιουργώντας ένα κελί τεχνολογίας λεπτού υμενίου. Η διαδικασία τοποθέτησης επιτρέπει στο άμορφο πυρίτιο να έχει λιγότερο από 1% του πάχους ενός κρυσταλλικού κελιού. Επιπλέον, τα κελιά άμορφου πυριτίου δίνουν τη δυνατότητα κατασκευής εύκαμπτων φωτοβολταϊκών πάνελ.

Γ2. Κελιά καδμίου-τελλουρίου (CdTe)

Η κρυσταλλική ένωση καδμίου-τελλουρίου (CdTe) είναι ένα αποτελεσματικό υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών κελιών. Για τη δημιουργία μίας ένωσης p-n σε ένα ηλιακό κελί, ένα στρώμα σουλφιδίου του καδμίου προστίθεται στο CdTe. Λόγω της αποτελεσματικότητας ένα κελί CdTe χρησιμοποιεί περίπου το 1% του ημιαγωγού υλικού σε σχέση με ένα κρυσταλλικό κελί. Μειονέκτημα τους αποτελεί το γεγονός της χρήσης του σπάνιου μετάλλου τελλουρίου. Επιπλέον, η χρήση του καδμίου επιβάλλει την αναγκαστική ανακύκλωση τους μετά το πέρας της ζωής τους.

Γ3. Κελιά χαλκού-Ινδίου / Γαλλίου – Δισεληνιούχου

Αποτελεί μία από τις περισσότερο υποσχόμενες τεχνολογίες, όπου κελιά λεπτού υμενίου κατασκευάζονται από έναν συνδυασμό χαλκού-ινδίου- δισεληνιούχου και χαλκού-γαλλίου-δισεληνιούχου (κελιά CIGS). Τα κελιά αυτά έχουν επιδείξει αποδόσεις της τάξης του 19,9%, που αποτελεί την υψηλότερη για κελιά λεπτού υμενίου.

Δ. Άλλοι τύποι κελιών

Εκτός των παραπάνω συναντά κανείς και τους παρακάτω τύπους κελιών σε μικρό βαθμό ή σε εργαστηριακό επίπεδο:

Κελιά Γαλλίου-Αρσενικούχου (GaAs): Αποτελούν κελιά υψηλής απόδοσης (έως και 36%), ωστόσο ιδιαίτερα ακριβά.

Οργανικά/πολυμερή κελιά: Αποτελούν μία σχετικά νέα τεχνολογία. Τα οργανικά κελιά λειτουργούν με έναν λίγο διαφορετικό τρόπο σε σχέση με τις άλλες τεχνολογίες: αντί για ημιαγωγίμες p-n επαφές, τα οργανικά κελιά χρησιμοποιούν οργανικά υλικά που λειτουργούν ως δότες και δέκτες ηλεκτρονίων. Το μεγάλο πλεονέκτημα χρήσης οργανικών υλικών είναι ότι επιτρέπουν την μεγάλης-κλίμακας, χαμηλής-θερμοκρασίας κατασκευή εύκαμπτων ηλιακών κελιών σε υποστρώματα

πλαστικών. Η απόδοση των οργανικών κελιών είναι σήμερα της τάξης του 5-6%, ωστόσο η αύξηση της πρόκειται να μειώσει σημαντικά το κόστος παραγωγής ηλιακών κελιών.

Διάφορες ταξινομήσεις μπορεί να γίνει ανάλογα με τον παράγοντα, με κριτήριο το πάχος, υπάρχουν δύο τύποι τεχνολογιών (λεπτού υμένα και κρυσταλλικής).

Ωστόσο, εάν η κατάταξη γίνεται σε σχέση με το υλικό, θα είναι διάκριση μεταξύ των ημιαγωγών (CdTe, φυσικού αερίου, CuInSe / CIS) και το πυρίτιο, το οποίο ανάλογα με την εφαρμογή, τις επιδόσεις και την διαδικασία κατασκευής μπορεί να χαρακτηριστεί ως μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά και άμορφα.)

Τέλος, υπάρχει και μια άλλη κατάταξη ανάλογα με τη γενιά του φωτοβολταϊκού, μπορούν να διακριθούν:

- **Κύτταρα πρώτης γενιάς (IG)** : κρυσταλλικού πυριτίου (μονο-και πολυ), GaAs (χώρος εφαρμογές). Υψηλό κόστος ανά μονάδα ενέργειας.

-**Κύτταρα δεύτερης γενιάς (IIIG)**: κρυσταλλικού πυριτίου (βελτιστοποιημένη), άμορφου πυριτίου (thin ταινία), ένα σύνθετο ημιαγωγό (GaAs, CdTe, CIS). Μέτριας αποτελεσματικότητας, το κόστος ανά μονάδα προϊόντος παραμένει σε υψηλά επίπεδα.

- **Κύτταρα τρίτης γενιάς (IIIIG)** : πολλαπλής - διασταύρωσης (multi-junction), κβαντικών δομών (quantum structures), πολυμερή οργανικής βαφής (polymeric organic dye), συγκέντρωσης (concentration). Τα οποία υπερβαίνουν το θεωρητικό όριο απόδοσης για μονά κύτταρα ημιαγωγού ($\approx 31\%$) και έχουν θερμοδυναμικό τάση για την ηλεκτρική μετατροπή της ηλιακής ενέργειας ($\approx 87\%$).

1.2.6.Εξοικείωση με την ορολογία

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 πανέλο: 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 πανέλα 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).

Αντιστροφέας (inverter): Ηλεκτρονική συσκευή που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο.

Ρυθμιστής φόρτισης (charge controller): Συσκευή που χρησιμοποιείται σε αυτόνομα συστήματα για να ρυθμίζει τη φόρτιση των συσσωρευτών.

1.3.ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ/ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΦΒ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Σήμερα η ενέργεια που παράγεται από φωτοβολταϊκά συστήματα εξυπηρετεί ανθρώπους στις πιο απομακρυσμένες περιοχές στον πλανήτη μας όπως και στα κέντρα των πόλεων. Είτε είστε ιδιοκτήτης κατοικίας, γεωργός, αρχιτέκτονας ή απλά κάποιος που πληρώνει λογαριασμούς στο δίκτυο κοινής ωφελείας, οι πιθανότητες μας λένε ότι αυτή η τεχνολογία σας έχει αγγίξει σε κάποιο βαθμό.

Η ενέργεια παράγεται όπου και όταν χρειάζεται και το φωτοβολταϊκό σύστημα είναι απλό σε όλα του τα στάδια - από την καλωδίωση, την αποθήκευση του έως και τα κέντρα ελέγχου του. Τα μικρά συστήματα (έως 500W) έχουν χαμηλό βάρος και είναι πολύ εύκολα στην μεταφορά και στην εγκατάστασή τους. Στις περισσότερες περιπτώσεις η εγκατάσταση ενός συστήματος διαρκεί μερικές ώρες. Ένα παράδειγμα είναι οι αντλίες νερού που απαιτούν συχνή συντήρηση, ενώ το φωτοβολταϊκό σύστημα που τις τροφοδοτεί με ηλεκτρικό απαιτούν μόνο ένα περιοδικό έλεγχο της κατάστασής τους και καθάρισμα.

Τα ΦΒ συστήματα χαρακτηρίζονται από μεγάλο εύρος εφαρμογών με κριτήριο την απαίτηση ισχύος και χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

A)Απομονωμένα ή εκτός δικτύου ΦΒ συστήματα (Stand-alone –Off grid)

B)Συστήματα συνδεδεμένα σε δίκτυο (On -grid)

1.3.1. A)Τα Απομονωμένα ΦΒ συστήματα

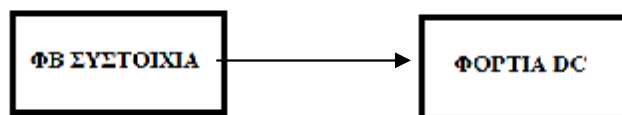
Τα Απομονωμένα ΦΒ συστήματα δεν είναι συνδεδεμένα σε κάποιο εθνικό ή τοπικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, γι' αυτό και ονομάζονται και εκτός δικτύου ΦΒ συστήματα (Stand-alone –Off grid).Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που χρειάζεται σε κάποιο σημείο ηλεκτρική ισχύς και είναι αδύνατη η μεταφορά της ή αν υπάρχει επιθυμία πλήρους αυτονομίας της ηλεκτρικής ενέργειας από κάποιο δίκτυο και έχουν τυπικές τιμές ισχύος από 100 Wp έως 200 KWp .

Τα Απομονωμένα ή εκτός δικτύου ΦΒ συστήματα χωρίζονται σε δύο κατηγορίες : τα Αυτόνομα ΦΒ συστήματα και τα Υβριδικά ΦΒ συστήματα.

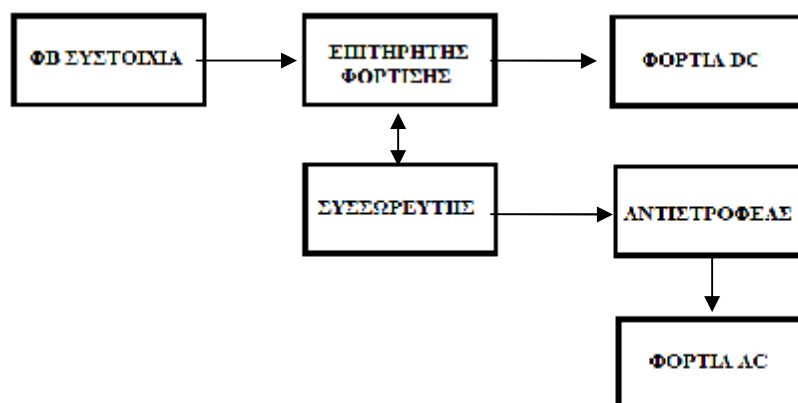
1.3.1.1. Αυτόνομα ΦΒ συστήματα

Στα Αυτόνομα ΦΒ συστήματα η αναγκαία ηλεκτρική ενέργεια παράγεται αποκλειστικά από ΦΒ συστοιχίες. Η παροχή της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να είναι άμεση στους καταναλωτές ή μέσω συσσωρευτών-μπαταριών. Επίσης, η αποδιδόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να είναι συνεχούς (DC) ή εναλλασσόμενης τάσης (AC). Σύμφωνα με τα παραπάνω τα αυτόνομα συστήματα διακρίνονται σε:

-Άμεσης τροφοδοσίας του φορτίου (Direct-coupled),στα οποία η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια αποδίδεται απευθείας στο φορτίο και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που δεν απαιτείται τακτική λειτουργία του συστήματος καθώς και σε φορτία συνεχούς ρεύματος. π.χ. τα συστήματα άντλησης νερού.



-Με αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας , τα οποία περιλαμβάνουν συσσωρευτές-μπαταρίες για την αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας. Σχεδιάζονται σύμφωνα με τις επιθυμητές μέρες αυτονομίας πράγμα που καθορίζει το μέγεθος των συσσωρευτών. π.χ. ΦΒ συστήματα τροφοδοσίας φωτισμού οδών, τροχόσπιτων κλπ.



Φωτοβολταϊκά Συστήματα Με Μπαταρίες

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα με μπαταρίες είναι μία πολύ αξιόπιστη λύση για την ηλεκτροδότηση ενός χώρου ή μηχανήματος 24 ώρες το 24ωρο, με βροχή ή λιακάδα. Χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο για να μας δίνουν φως, να προμηθεύουν ηλεκτρικό τις οικιακές συσκευές, διακόπτες, τηλέφωνα, ακόμα και μηχανολογικό εξοπλισμό βαρέως τύπου.

Κατά την διάρκεια της ημέρας τα στοιχεία συλλέγουν ηλιακό φως, το μετατρέπουν σε ηλεκτρικό ρεύμα και το αποθηκεύουν στις μπαταρίες. Αυτές με την σειρά τους μας προμηθεύουν με ηλεκτρισμό όταν ζητηθεί. Μεσολαβεί μία συσκευή που ονομάζεται "ρυθμιστής φόρτισης" η οποία φροντίζει να φορτίζονται σωστά οι μπαταρίες και επιμηκύνει την διάρκεια ζωής τους, προστατεύοντάς τις από υπερφόρτιση ή από την ολική τους αποφόρτιση.

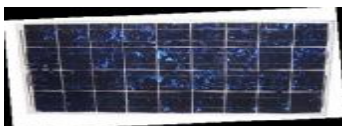
Οι μπαταρίες είναι χρήσιμες στις περισσότερες περιπτώσεις αλλά απαιτούν μία περιοδική συντήρηση. Μοιάζουν με τις μπαταρίες των αυτοκινήτων, αλλά είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να μας δίνουν περισσότερο από το αποθηκευμένο ρεύμα τους κάθε ημέρα. Τα υγρά τους πρέπει να ελέγχονται περιοδικά και πρέπει να προστατεύονται από υπερβολικά χαμηλές θερμοκρασίες.

Η ποσότητα του ηλεκτρικού ρεύματος που μπορούμε να απαιτήσουμε από αυτές μετά την δύση του ήλιου ή σε συννεφιασμένο καιρό καθορίζεται από την παραγωγή των φωτοβολταϊκών στοιχείων και το είδος/ποσότητα των μπαταριών. Η πρόσθεση επιπλέον μπαταριών και στοιχείων ανεβάζει το κόστος της επένδυσής μας, για αυτό τον λόγο πρέπει να γίνεται καλή μελέτη των ενεργειακών αναγκών πριν την εγκατάσταση του συστήματος για τον ορισμό του αποδοτικότερου μεγέθους του

συστήματος. Εάν οι ανάγκες μας σε ενέργεια αλλάξουν η προσθήκη και άλλων μερών του συστήματος είναι εφικτή και απλή.



Φωτοβολταϊκό πλαίσιο: Είναι βασική μονάδα παραγωγής ρεύματος που αποτελείται από ορισμένο αριθμό Φ/Β στοιχείων, 10 έως 50 συνήθως, ενωμένων με κατάλληλες μεταλλικές επαφές και προστατευμένων εξωτερικά μέσω αντι-ανακλαστικής μεμβράνης και επικάλυψης γυαλιού.



Μετατροπέας (inverter): Μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πλαίσια σε εναλλασσόμενο προκειμένου να γίνει συμβατό με τη λειτουργία των ηλεκτρικών συσκευών. Η μετατροπή του ρεύματος από συνεχές σε εναλλασσόμενο όμως, αποφέρει αρκετές απώλειες. Αυτό θα μπορούσε να αποφευχθεί εάν οι ηλεκτρικές συσκευές είχαν τη δυνατότητα να λειτουργήσουν με συνεχές ρεύμα.



Ρυθμιστής τάσης: Ρυθμίζει και διατηρεί τη κανονική φόρτιση των μπαταριών από τα φωτοβολταϊκά στοιχεία. Όταν η μπαταρία φτάνει στο στάδιο της υπερφόρτισης τότε ελαττώνεται ο χρόνος ζωής της. Για το λόγο αυτό ο ρυθμιστής τάσης ελαττώνει το ρεύμα που προσφέρουν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια προς τη μπαταρία.

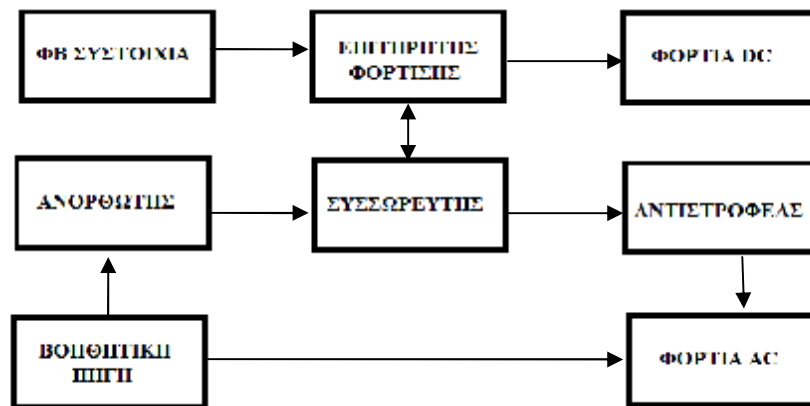


Μπαταρία: Σε περίπτωση που το σύστημα είναι αυτόνομο, τότε απαιτείται η χρήση μπαταριών για την αποθήκευση του παραγόμενου ρεύματος που δεν καταναλώνεται άμεσα. Η μπαταρία προσφέρει με τη σειρά της την αποθηκευμένη ενέργεια, όταν δεν υπάρχει ηλιακό φως, κυρίως δηλαδή τις βραδινές ώρες.



1.3.1.2. Υβριδικά ΦΒ συστήματα

Όταν η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια δεν καλύπτεται από την ΦΒ συστοιχία σε αυτόνομα ΦΒ συστήματα, τότε χρησιμοποιείται ο συνδυασμός της με κάποια άλλη πηγή ενέργειας. Αυτές οι πηγές μπορεί να είναι συμβατικών καυσίμων ή Α.Π.Ε. Κυρίως χρησιμοποιούνται ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ή ανεμογεννήτριες αντίστοιχα. Συχνά στα συστήματα αυτά προβλέπεται αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Π.χ. ιερές μονές και εξοχικές κατοικίες.



Τα Υβριδικά ΦΒ συστήματα συνδιάζουν ηλεκτρικό ρεύμα που προέρχεται από πετρελαιογεννήτριες, ανεμογεννήτριες, μικρές υδροηλεκτρικές γεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα, ανάλογα με τις ενεργειακές ανάγκες που υπάρχουν, αξιοποιώντας τα γεωγραφικά πλεονεκτήματα της περιοχής. Είναι ιδανικά συστήματα για εφαρμογές σε απομακρυσμένες τοποθεσίες όπως τηλεπικοινωνιακοί σταθμοί και αναμεταδότες, στρατιωτικές εγκαταστάσεις και παραμεθόρια χωριά. Απαραίτητη γνώση για την εγκατάσταση ενός υβριδικού συστήματος είναι η ζήτηση σε ηλεκτρικό ρεύμα όπως και τα γεωγραφικά και τοπολογικά πλεονεκτήματα, οπότε πρέπει να καταμετρηθεί η ηλιακή ενέργεια, ο άνεμος και άλλες πιθανές πηγές σε μία συγκεκριμένη περιοχή. Αυτή η καταμέτρηση θα αποτελέσει την βάση για τον σχεδιασμό ενός υβριδικού συστήματος φωτοβολταϊκό, παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που καλύπτει σε όσον το δυνατόν μεγαλύτερο μέρος τις ανάγκες σε ηλεκτρικό ρεύμα της εγκατάστασης ή της κοινότητας.

Από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα της οργανωμένης εγκατάστασης φωτοβολταϊκών γεννητριών διασυνδεδεμένων σε δίκτυο, είναι οι εξαιρετικές δυνατότητες αισθητικής αφομοίωσής τους από το περιβάλλον.

Το χαμηλό ύψος εγκατάστασης των φωτοβολταϊκών γεννητριών, ακόμη και αν χρησιμοποιηθούν trackers (ηλιοτροπικά συστήματα παρακολούθησης του ήλιου) δεν υποβαθμίζει αισθητικά τον περιβάλλοντα χώρο ή το ευρύτερο περιβάλλον στο οποίο εγκαθίστανται.

Δεν είναι τυχαίο ότι στη Γερμανία, στη Δανία, στην Ολλανδία, στην Ισπανία και στην Ιταλία, χώρες όλες τους που διακρίνονται για την αυξημένη περιβαλλοντική ευαισθησία, η εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάρκων γνωρίζει υψηλότατη κοινωνική αποδοχή.

Χαρακτηριστικό της παγκόσμιας αποδοχής που έχουν οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις είναι η πλήρης στήριξή τους από διεθνείς περιβαλλοντικές οργανώσεις, όπως η Green Peace (www.greenpeace.org) και το Διεθνές Ταμείο για τη Φύση (www.wwf.org)

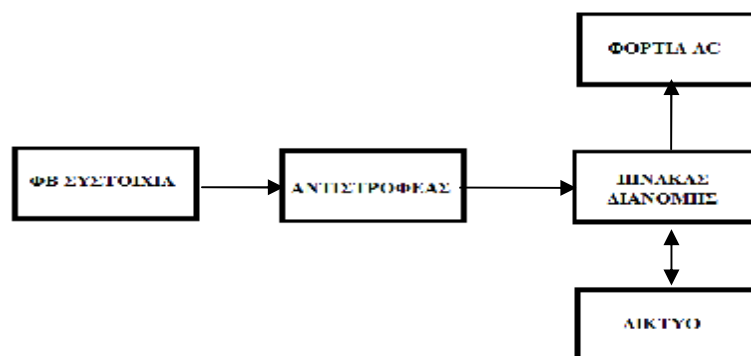
1.3.2. Β)ΦΒ συστήματα συνδεδεμένα στο δίκτυο

Τα συνδεδεμένα στο δίκτυο ΦΒ συστήματα παράγουν το μεγαλύτερο ποσοστό ισχύος των εγκατεστημένων ΦΒ συστημάτων. Τα συγκεκριμένα ΦΒ συστήματα είναι συνδεδεμένα με κάποιο δίκτυο ηλεκτρικής παροχής, αντλώντας από αυτό ηλεκτρική ισχύ που δεν μπορούν να καλύψουν, χωρίς να είναι απαραίτητη η αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Επίσης, μπορούν να συνιστούν μεγάλη ισχύος κεντρικούς ΦΒ σταθμούς, με ισχύ μεγαλύτερη των 50kWp, η οποία διοχετεύεται στο κεντρικό δίκτυο (Centralized system), ή να είναι συνδεδεμένα στο δίκτυο ως καταναμημένα συστήματα (Distributed).

Οι εξωτερικοί σύνδεσμοι που μπορεί να είναι συνδεδεμένα τα ΦΒ στο δίκτυο είναι οι ακόλουθες:

- **HELAPCO** σύλλογος εταιριών φωτοβολταϊκών
- **GREEN PEACE** παγκόσμιος οικολογικός οργανισμός που στηρίζει έντονα την χρήση των φωτοβολταϊκών
- **ΡΑΕ:** Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας σχετικά με τα φωτοβολταϊκά (photovoltaic)
- **ΔΕΗ:** Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού για διασυνδεδεμένα φωτοβολταϊκά (photovoltaic)
- **ΔΕΣΜΗΕ:** Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας



Τα καταναμημένα συστήματα αποτελούν το μεγαλύτερο ποσοστό των παγκοσμίως συνδεδεμένων στο δίκτυο ΦΒ συστημάτων με τυπικό μέγεθος από 1,5 kWp έως 20 kWp. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο αλληλεπίδρασης τους με το δίκτυο:

-Τα ΦΒ συστήματα που χρησιμοποιούν το δίκτυο ως βοηθητική πηγή ενέργειας, τα οποία σχεδιάζονται έτσι ώστε να καλύπτουν τις μέσες μηνιαίες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Στις περιπτώσεις έκτακτης ενεργειακής ζήτησης ή αστοχίας του ΦΒ συστήματος, το δίκτυο καλύπτει την ζήτηση ισχύος.

-Τα ΦΒ συστήματα που λειτουργούν με συνεχή αλληλεπίδραση με το δίκτυο, τα οποία σχεδιάζονται έτσι ώστε να καλύπτουν τις ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις της εφαρμογής. Σύμφωνα με τα παραπάνω, στην ιδανική περίπτωση, η παραγόμενη

ηλεκτρική ενέργεια είναι ίση ή μεγαλύτερη από την ενέργεια του δικτύου προς την εφαρμογή.

Φωτοβολταϊκό σύστημα συνδεδεμένο με τη ΔΕΗ

Σε μέρη όπου ήδη υπάρχει ηλεκτρικό ρεύμα είναι εφικτή η σύνδεσή του με το φωτοβολταϊκό μας σύστημα, συμπληρώνοντας έτσι τις ανάγκες μας σε ενέργεια και αντικαθιστώντας την χρήση των μπαταριών. Πολλοί ιδιοκτήτες σπιτιών χρησιμοποιούν και τις δύο πηγές ηλεκτρισμού, μειώνοντας έτσι τον λογαριασμό του ηλεκτρικού. Ικανοποιούνται επίσης από το γεγονός ότι δεν μολύνουν το περιβάλλον. Ένας χρήστης φωτοβολταϊκού συστήματος που είναι συνδεδεμένο με το δίκτυο μπορεί επίσης να πουλήσει ρεύμα στην ΑΗΚ. Αυτό επιτυγχάνεται τοποθετώντας ένα μετρητή μεταξύ του συστήματος και του δικτύου.

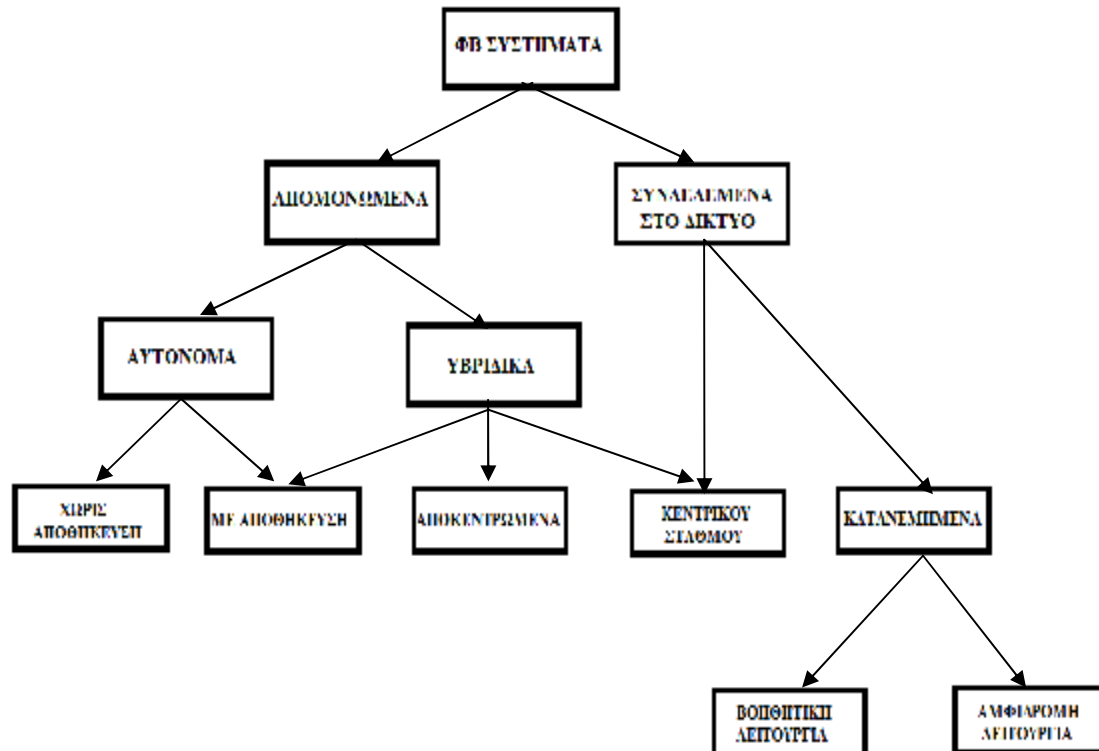
Το ρεύμα που του παρέχει το φωτοβολταϊκό σύστημα διοχετεύεται (ή πωλείται) στο δίκτυο. Για να γίνει αυτό εφικτό χρειάζεται ένας εγκεκριμένος μετατροπέας που μετατρέπει το συνεχές ρεύμα που παράγει το φωτοβολταϊκό σύστημα στο εναλλασσόμενο του δικτύου εξισορροπώντας την τάση, την συχνότητα και την ποιότητά του με ακρίβεια. Σε περίπτωση πτώσης της τάσης του δικτύου, αυτόματοι διακόπτες ασφαλείας αποσυνδέουν το φωτοβολταϊκό σύστημα από αυτό.



1 – Φωτοβολταϊκό πλαίσιο, 2 – Μετατροπέας (inverter),
3 – Δίκτυο ΔΕΗ, 4 – Οικιακές ηλεκτρικές συσκευές

1.3.3. Όλες Οι Κατηγορίες ΦΒ Συστημάτων Συνοπτικά

Στο σχήμα που ακολουθεί αναφέρονται όλες οι κατηγορίες ΦΒ συστημάτων συνοπτικά:

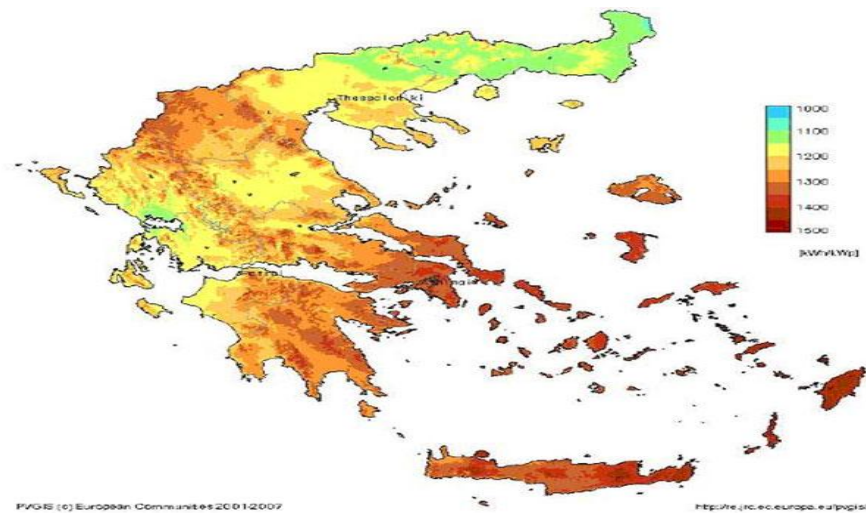


1.4. ΑΠΟΔΟΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Η απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα μετεωρολογικά-κλιματικά στοιχεία μιας περιοχής (όχι μόνο η ηλιακή ακτινοβολία αλλά και η θερμοκρασία της επηρεάζει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας). Επίσης το γεωγραφικό μήκος, πλάτος και το υψόμετρο του συστήματος επηρεάζουν δραστικά την απόδοση του φωτοβολταϊκού.

Ηλιακή ακτινοβολία

Η χώρα μας αποτελεί την πιο ηλιόλουστη γωνιά της Ευρώπης. Όπως φαίνεται και από το χάρτη για κάθε kWp οι παραγόμενες kWh κατ' έτος κυμαίνονται από 1100kWh για τις βόρειες περιοχές έως 1500kWh για τις νότιες (600 έως 750€ το χρόνο σύμφωνα με την Επιδότηση)



1.4.1. Η Ελληνική Πραγματικότητα

Η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία στη χώρα μας κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα τόσο κατά τη καλοκαιρινή όσο και κατά την χειμερινή περίοδο. Η μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία σε μερικές αντιπροσωπευτικές περιοχές παρουσιάζονται στον πιο κάτω πίνακα:

| Μήνας | Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Αθήνα [kwh/m ²] | Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Θεσσαλονίκη [kwh/m ²] | Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Κρήτη [kwh/m ²] | Μέση μηνιαία διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία Ρόδος [kwh/m ²] |
|-------------|---|---|---|---|
| Ιανουάριος | 91.99 | 85.160 | 92.59 | 91.53 |
| Φεβρουάριος | 103.74 | 94.492 | 107.72 | 105.99 |
| Μάρτιος | 138.94 | 128.34 | 146.85 | 144.58 |
| Απρίλιος | 156.97 | 144.38 | 171.17 | 168.03 |
| Μάιος | 179.01 | 166.69 | 197.67 | 194.27 |
| Ιούνιος | 176.60 | 166.03 | 195.51 | 192.45 |
| Ιούλιος | 184.75 | 176.44 | 200.81 | 198.52 |
| Αύγουστος | 184.19 | 176.86 | 195.57 | 193.84 |
| Σεπτέμβριος | 166.22 | 157.38 | 173.61 | 171.81 |
| Οκτώβριος | 139.06 | 131.02 | 141.68 | 140.32 |
| Νοέμβριος | 107.64 | 95.92 | 111.38 | 109.30 |
| Δεκέμβριος | 88.51 | 80.42 | 89.71 | 88.40 |
| Μέση ετήσια | 143.13 | 133.59 | 152.02 | 149.92 |

πίνακας αναφέρει την διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας

Όλα τα πλεονεκτήματα όμως που προσφέρουν τα φωτοβολταϊκά συστήματα δεν στάθηκαν ικανά μέχρι σήμερα να απογειώσουν την αγορά των φωτοβολταϊκών και παρά το γεγονός ότι η Ελλάδα είναι η πιο πλούσια χώρα της Ευρώπης σε ηλιοφάνεια κατατάσσεται μεταξύ των τελευταίων στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Αιτία το σχετικά υψηλό κόστος συγκριτικά με τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Η αγορά Φ/Β θα ευδοκιμήσει όταν πέσει το κόστος τους, αλλά για να πέσει το κόστος χρειάζεται μια οικονομία κλίμακας, δηλαδή μια σχετικά δυναμική αγορά.

Προσπαθώντας να ενισχύσουν την χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων και στην χώρα μας, έχουν ήδη ξεκινήσει σημαντικά προγράμματα ενίσχυσης των Φ/Β, με γενναίες επιδοτήσεις τόσο της αγοράς και εγκατάστασης Φ/Β, όσο και της παραγόμενης ηλιακής κιλοβατώρας.

Το σημαντικότερο κίνητρο όμως για επενδύσεις είναι ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των φωτοβολταϊκών συστημάτων θα μπορεί να πωλείται στη ΔΕΗ εγγυημένα για μία 20ετία σε τιμή η οποία θα αναπροσαρμόζεται με βάση τον πληθωρισμό ή τις αυξήσεις των τιμολογίων της ΔΕΗ. Το νέο νομοθετικό πλαίσιο εγγυάται γρήγορη απόσβεση των επενδύσεων και σημαντικά κέρδη. Η σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στη ΔΕΗ ισχύει για 10 έτη και μπορεί να παρατείνεται για επιπλέον 10, μονομερώς, με έγγραφη δήλωση του παραγωγού.

Σύμφωνα με τον νέο νόμο, η παρεχόμενη τιμή πώλησης της ηλιακής κιλοβατώρας είναι 0,40-0,50 ευρώ ανάλογα με την ισχύ του φωτοβολταϊκού συστήματος και τον τόπο εγκατάστασης. Η τιμή είναι μεγαλύτερη στα νησιά και μικρότερη στην ηπειρωτική χώρα (συγκεκριμένα για την Κρήτη είναι 0,50 ευρώ για Εγκατεστημένη Ισχύ μικρότερη ή ίση των 100 KW_{peak}).

Σε γενικές γραμμές, ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Ελλάδα παράγει κατά μέσο όρο ετησίως περί τις 1.150-1.400 κιλοβατώρες ανά εγκατεστημένο κιλοβάτ (KWh/έτος/KW). Προφανώς στις νότιες και πιο ηλιόλουστες περιοχές της χώρας ένα φωτοβολταϊκό παράγει περισσότερο ηλιακό ηλεκτρισμό απ ό,τι στις βόρειες.

Ενδεικτικά αναφέρουμε πως ένα φωτοβολταϊκό σύστημα στην Αθήνα αποδίδει 1.250- 1.450 KWh/έτος/KW, στη Θεσσαλονίκη 1.150-1.275 KWh/έτος/KW και στην Κρήτη ή στη Ρόδο 1.400-1.500 KWh/έτος/KW.

1.4.2. Προσανατολισμός – Κλίση

Για να είναι εφικτή η μεγιστοποίηση της ενεργειακής αποδοτικότητας των φωτοβολταϊκών πλαισίων θα πρέπει να επιτυγχάνεται βέλτιστη εκμετάλλευση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Επειδή η συνεχής παρακολούθηση του ήλιου (tracker) δεν είναι οικονομικά αποδοτική (για την περίπτωση στέγης ή ταράτσας) επιλέγεται μια βέλτιστη κλίση και προσανατολισμός.

Για το βόρειο ημισφαίριο η βέλτιστη κλίση του φωτοβολταϊκού είναι 10°-30° με κατεύθυνση προς το Νότο. Για την Ελλάδα η μεγιστοποίηση της συνολικής ετήσιας ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε επιφάνεια σταθερής κλίσης επιτυγχάνεται για νότιο προσανατολισμό και κλίση περίπου 28°. Δεδομένου ότι στην περίπτωση των κτιριακών φωτοβολταϊκών εγκαταστάσεων οι βέλτιστες τιμές κλίσης και προσανατολισμού μπορεί να είναι ανέφικτες, προτείνονται επιφάνειες νότιου προσανατολισμού με αζιμουθιακή απόκλιση ως 70° από το Νότο και κλίση στο εύρος 10°-30°. Σημειώνεται ότι η χρήση γωνιών άνω των 10°-15° διευκολύνει τον αυτοκαθαρισμό (μέσω σταγονιδίων βροχής) των πλαισίων από σωματίδια σκόνης και άλλους ρύπους μέσω της βροχής.

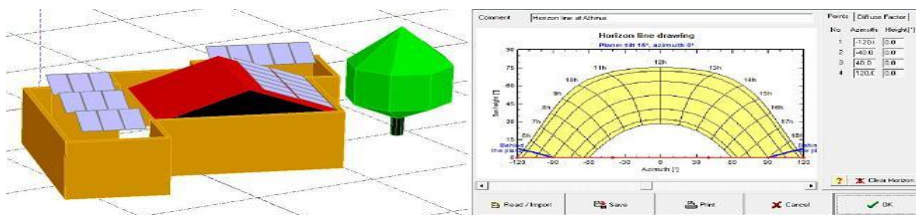
| Προσανατολισμός | Κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο | | |
|----------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | 30° | 0° | 90° |
| Ανατολικός - Δυτικός | 85%kWh _(max) | 90%kWh _(max) | 50%kWh _(max) |
| ΝοτιοΑνατολικός - ΝοτιοΔυτικός | 95%kWh _(max) | 90%kWh _(max) | 60%kWh _(max) |
| Νότιος | kWh _(max) | 90%kWh _(max) | 60%kWh _(max) |
| ΒορειοΑνατολικός - ΒορειοΔυτικός | 67%kWh _(max) | 90%kWh _(max) | 30%kWh _(max) |
| Βόρειος | 60%kWh _(max) | 90%kWh _(max) | 20%kWh _(max) |

1.4.3. Σκίαση

Πολύ κρίσιμος παράγοντας για την απόδοση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος είναι η σκίαση. Όταν ένα φωτοβολταϊκό πλαίσιο σκιάζεται ακόμη και εν μέρει παράγει σημαντικά χαμηλότερο ρεύμα και κατά συνέπεια λιγότερη ενέργεια. Το πρόβλημα όμως δε σταματάει εδώ, καθώς το συγκεκριμένο πλαίσιο αποτελεί σημείο συμφόρησης (bottleneck) για όλη την ομάδα πλαισίων που είναι συνδεδεμένα επιβάλλοντας το χαμηλότερο ρεύμα του σε όλα τα υπόλοιπα μειώνοντας σημαντικά τη συνολική παραγωγή του συστήματος. Πέραν της μειωμένης απόδοσης, επαναλαμβανόμενες τοπικές σκιάσεις σε ώρες υψηλής ακτινοβολίας καταπονούν το σκιασμένο φωτοβολταϊκό πλαίσιο προκαλώντας πρόωρη γήρανση, καθώς το ρεύμα των υπόλοιπων πλαισίων καταναλώνεται σε μορφή θερμότητας στο σκιασμένο.

Το πρόβλημα της σκίασης είναι ιδιαίτερος έντονο στα φωτοβολταϊκά σε στέγες και ταράτσες για πολλούς λόγους. Καταρχάς λόγω του περιορισμένου χώρου δεν είναι εύκολο να απομακρυνθεί το σύστημα από παρακείμενα εμπόδια. Τα περισσότερα συστήματα εγκαθίστανται εντός πόλεων όπου τα διαφορετικά ύψη κτιρίων προκαλούν μόνιμες σκιάσεις. Τέλος, πολλά εμπόδια που βρίσκονται ήδη στη στέγη ή την ταράτσα, όπως η απόληξη του κλιμακοστασίου, προεξοχές σοφίτας, σπασίματα της στέγης, καμινάδες, ιστοί κεραιών, θερμοσίφωνες, λέβητες, σύρματα, το στηθαίο της ταράτσας κ.α. προκαλούν δυσεπίλυτα προβλήματα.

Από τα ανωτέρω είναι φανερό ότι σε κάθε περίπτωση πριν τη λήψη της απόφασης για την εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος σε στέγη ή ταράτσα θα πρέπει κάθε ιδιοκτήτης να συμβουλευτεί τη γνώμη ενός ειδικού και στην περίπτωση που υπάρχουν σκιάσεις θα πρέπει να εκπονηθεί μελέτη σκιάσεων η οποία θα δώσει στον ενδιαφερόμενο μια πολύ καλή εκτίμηση των απωλειών λόγω σκιάσεων και θα προτείνει εναλλακτικές λύσεις του προβλήματος.



Στις επιλογές που έχει ο σχεδιαστής του συστήματος για την επίλυση του προβλήματος των σκιάσεων είναι:

- Απομάκρυνση των εμποδίων αν είναι δυνατό (θερμοσίφωνες, κεραίες, σύρματα).
- Μείωση του ύψους των εμποδίων (καμινάδες, κεραίες).
- Απομάκρυνση από τα εμπόδια (τουλάχιστον τόση απόσταση όσο το διπλάσιο της διαφοράς ύψους εμποδίου-πλαίσιου για την περίπτωση νότιας σκίασης).
- Κατάλληλος διαχωρισμός στοιχειοσειρών (ομαδοποίηση πλαισίων) ώστε να συνδέονται μαζί τα πλαίσια που υφίστανται παρόμοιες συνθήκες σκίασης (επίσης συνδέονται μαζί πλαίσια με ίδιο προσανατολισμό και ίδια κλίση) και να εισάγονται σε ξεχωριστή είσοδο του αντιστροφέα.
- Στις πιο δύσκολες περιπτώσεις που δεν αρκούν οι 2 ή το πολύ 3 διαφορετικές είσοδοι των κλασσικών αντιστροφέων χρησιμοποιούνται νέες τεχνολογίες αντιστροφέων που χειρίζονται κάθε πλαίσιο ξεχωριστά χωρίς οι διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του να επηρεάζουν κανένα άλλο πλαίσιο.
- Κατάλληλη επιλογή πλαισίων με διόδους παράκαμψης του πλαισίου όταν αυτό δε λειτουργεί

1.4.4. Η Απόδοση Των Φωτοβολταϊκών Στη Συννεφιά

Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τον ήλιο με φωτοβολταϊκά χρειάζεται το φως της ηλιακής ακτινοβολίας, όχι τη θερμότητά της. Ακόμη και μια συννεφιασμένη χειμωνιάτικη ημέρα θα υπάρχει άφθονο διάχυτο φως και τα φωτοβολταϊκά θα συνεχίσουν να παράγουν ηλεκτρισμό, έστω και με μειωμένη απόδοση (π.χ. ακόμη και με απόλυτη συννεφιά το φωτοβολταϊκό θα παράγει ένα 5%-20% της μέγιστης ισχύος του). Ανάλογα με την ισχύ του συστήματος και τις ανάγκες του χρήστη, η μειωμένη αυτή παραγωγή μπορεί να μην επαρκεί. Στις περιπτώσεις αυτές, αν η εγκατάσταση είναι συνδεδεμένη με τη ΔΕΗ, η κατανάλωση ρεύματος θα γίνεται από το δίκτυο.

Μια πλήρως αυτόνομη λύση με καλή σχέση κόστους-απόδοσης είναι π.χ. ένας συνδυασμός φωτοβολταϊκών στοιχείων και μιας μικρής ανεμογεννήτριας, δηλαδή ένα υβριδικό σύστημα. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από τον ήλιο και τον άνεμο αλληλοσυμπληρώνονται μέσα από το σύστημα αποθήκευσης και διαχείρισης της ενέργειας. Η Ελλάδα είναι πάντως ιδιαίτερα ευνοημένη από τον ήλιο καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Αν σκεφθεί κανείς ότι πολλά από τα συστήματα για τα οποία μιλάμε έχουν αναπτυχθεί και αποδίδουν στη Βόρεια Ευρώπη, γίνεται κατανοητό ότι οι συνθήκες ηλιοφάνειας στη χώρα μας προσφέρονται για τη συμφέρουσα παραγωγή ενέργειας.

1.4.5. Βασικά Μεγέθη

Το κυριότερο μέγεθος για ένα φωτοβολταϊκό σύστημα είναι η μέγιστη ισχύς του η οποία μετριέται σε kWp και είναι η ισχύς που αποδίδει το σύστημα υπό συγκεκριμένες συνθήκες (ηλιοφάνειας, θερμοκρασίας κ.α.). Σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία για στέγες ή ταράτσες η μέγιστη ισχύς που μπορεί να εγκατασταθεί είναι 10kWp εκτός από τα μη διασυνδεδεμένα νησιά που είναι 5kWp).

Ως απλός κανόνας για πρόχειρους και μόνο υπολογισμούς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ότι για 1 kWp απαιτούνται 7-8m² στέγης και 12-15m² ταράτσας παράγουν 1250-1650kWh/έτος (σύμφωνα με το Πρόγραμμα αποφέρουν 700-

800€/έτος). Είναι φανερό ότι μια επένδυση σε φωτοβολταϊκά περίπου 18-22% (πολύ περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη επένδυση πχ. ομόλογα) και αποσβένει σε περίπου 4-6 χρόνια ενώ για τα υπόλοιπα 20 (που διαρκεί η σύμβαση που υπογράφεται με τη ΔΕΗ) αποδίδει εγγυημένα και σταθερά έως 4.300€ το έτος (για ένα σύστημα των 10kWp).

| | 10kWp | 8kWp | 5kWp | 3kWp |
|---|---------------|---------------|--------------|-------------|
| Εμβαδό στέγης σε m² | 70 | 55 | 35 | 20 |
| Εμβαδό ταράτσας σε m² | 100 | 80 | 50 | 30 |
| Κόστος εγκατάστασης* σε € | 15.000-18.000 | 13.000-15.000 | 9.000-11.000 | 8.000-9.000 |
| Ετήσιο Εισόδημα σε € | 3.900 | 3.200 | 2.100 | 1.200 |
| Συνολικά κέρδη 25ετίας σε € | 93.000 | 75.000 | 48.000 | 28.000 |

** στις τιμές δε συμπεριλαμβάνεται φπα και η κοστολόγηση έχει γίνει για το μήνα Σεπτέμβριο του 2012. επικοινωνήστε μαζί μας για να μάθετε τις τρέχουσες τιμές μας.*

1.4.6.Περιβαλλοντικά Οφέλη

Αν θεωρήσουμε ότι ένα φωτοβολταϊκό σύστημα 10kWp αποδίδει περίπου 7.700€ ετησίως, το ποσό αυτό αποτελεί μόνο το 50% της απόσβεσης και ονομάζεται άμεση καθώς το υπόλοιπο 50% είναι έμμεση και αποδίδεται στο περιβάλλον, στην κοινωνία, στα παιδιά μας.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα 1kWp αποτρέπει κάθε χρόνο την έκλυση 1,3τόνων διοξειδίου του άνθρακα, όσο δηλαδή θα απορροφούσαν 2 στρέμματα δάσους (ή αντίστοιχα 100 δέντρα). Για να παραχθεί η ίδια ηλεκτρική ενέργεια με πετρέλαιο απαιτούνται 2,2 βαρέλια και ισοδυναμεί με την ετήσια μείωση 7.000χλμ. ενός μέσου αυτοκινήτου.

1.5.ΤΥΠΟΙ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ (ΦΒ) ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Υπάρχουν πολλοί τύποι ΦΒ συστημάτων όπως:

1.5.1.Φωτοβολταϊκά PV Σε Στέγες Σπιτιών

Στην Ελλάδα έχουν ξεκινήσει φωτοβολταϊκά (photovoltaic) προγράμματα επιδότησης των επενδύσεων σε φωτοβολταϊκά pv σε στέγες, τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια που μεταπωλείται και εισάγεται στα δημόσια δίκτυα μεταφοράς ΔΕΗ. Τα προγράμματα αυτά έχουν στόχο τη διαφοροποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τη σταδιακή απεξάρτησή της από το πετρέλαιο.

Σημαντικό κατά την εγκατάσταση των φωτοβολταϊκών πλαισίων είναι να στερεωθούν οι σταθερές βάσεις με γωνία 30-35 μοίρες και νότιο προσανατολισμό .

Στις περισσότερες διατάξεις οι βασικές μονάδες φωτοβολταϊκών στερεώνονται σ' ένα σταθερό κεκλιμένο επίπεδο με την πρόσοψη προς τον ισημερινό. Αυτό έχει την αρετή της απλότητας, δηλαδή κανένα κινούμενο τμήμα και χαμηλό κόστος. Η άριστη γωνία κλίσης εξαρτάται κυρίως από το γεωγραφικό πλάτος, την αναλογία της διάχυτης ακτινοβολίας στην τοποθεσία και το είδος του φορτίου.



εικόνα 1.1

1.5.2.Φωτοβολταϊκά PV Σε Συστήματα Στήριξης – ΦΒ Πάρκα

Υπάρχουν τρία είδη συστημάτων στήριξης:

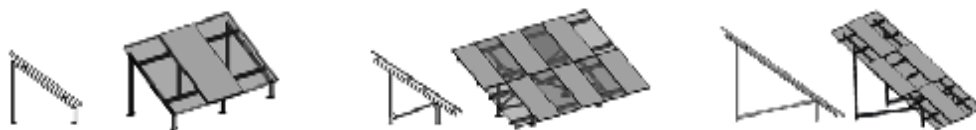
- 1) σταθερές βάσεις
- 2) βάσεις με χειροκίνητη μεταβολή της κλίσης
- 3) trackers
 - μονοαξονικοί ηλιοστάτες (trackers)
 - διαξονικοί ηλιοστάτες (trackers)

1)Σταθερές βάσεις AGROS

Οι σταθερές βάσεις στήριξης Φωτοβολταϊκών στοιχείων, καλύπτουν τις ανάγκες για έργα σε αγρούς, επίπεδες και επικλινείς επιφάνειες και κεραμοσκεπές.

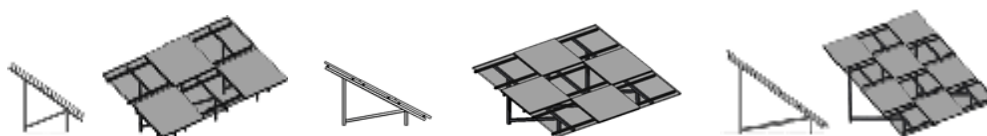
Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται, σε τομή και τρισδιάστατη απεικόνιση, όλοι οι τύποι σταθερών βάσεων που μπορούμε να κατασκευάσουμε με κλίσεις από 0 έως 45 μοίρες και δυνατότητα στήριξης Φ/Β συλλεκτών όπως παρακάτω (ανάλογα με το επιθυμητό ή επιτρεπτό κατά περίπτωση ύψος):

-Τύποι σταθερών βάσεων φωτοβολταϊκών σε portrait διάταξη:



AGROS 1P: 1 πάνελ καθ' ύψος AGROS 2P: 2 πάνελ καθ' ύψος AGROS 3P: 3 πάνελ καθ' ύψος

-Τύποι σταθερών βάσεων φωτοβολταϊκών σε landscape διάταξη:



AGROS 2L: 2 πάνελ καθ' ύψος AGROS 3L: 3 πάνελ καθ' ύψος AGROS 4L: 4 πάνελ καθ' ύψος

2) Βάσεις με χειροκίνητη μεταβολή της κλίσης.

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται, μια βάση στήριξης Φ/Β συστημάτων, με δυνατότητα χειροκίνητης ρύθμισης της κλίσης από 10 έως 45 μοίρες ανάλογα με την εποχή του έτους. Η ρύθμιση γίνεται πολύ εύκολα από τον ιδιοκτήτη και προσφέρει σημαντική αύξηση της παραγόμενης ισχύος με ελαφρώς μεγαλύτερη δαπάνη από τις σταθερές βάσεις.



Βάση με χειροκίνητη μεταβολή της κλίσης από 0 έως 60 μοίρες. Η ρύθμιση γίνεται εξίσου εύκολα από τον ιδιοκτήτη.



3) Trackers (Ηλιοστάτες)

Ο ηλιοστάτης είναι μια συσκευή που προσανατολίζει διάφορα ωφέλιμα φορτία προς τον ήλιο. Ωφέλιμα φορτία μπορεί να είναι τα φωτοβολταϊκά πάνελ, ανακλαστήρες, φακούς ή άλλες οπτικές συσκευές. Χωρίζονται σε μονοαξονικούς και διαξονικούς.

- **Μονοαξονικοί ηλιοστάτες (trackers)**

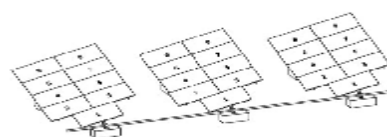
Η μονού άξονα παρακολούθηση (ιχνηλάτηση) tracker είναι λιγότερο σύνθετη αλλά παρουσιάζει μικρότερο κέρδος. Ο προσανατολισμός μπορεί να ρυθμίζεται χειροκίνητα, εκεί που η προσφορά εργασίας είναι διαθέσιμη, αυξάνοντας έτσι τις όποιες απολαβές

Τύπος IRIS

IRIS 9L: Στην εικόνα 1 και 2 βλέπουμε ένα σύστημα φωτοβολταϊκών ηλιοστατών ενός άξονα, που τοποθετούνται εν σειρά κατά ομάδες με κοινό άξονα κίνησης, μέσω του οποίου μπορούν να παρακολουθούν τον ήλιο κατά την πορεία ανατολή - δύση (αζιμούθιο). Το σύστημα αυτό παρέχει μια αύξηση της παραγόμενης ισχύος της τάξεως του 20 με 30% σε σχέση με τις σταθερές βάσεις. Το ύψος του κάθε ηλιοστάτη δεν ξεπερνάει τα 2,5m, η κλίση του άξονά του είναι 20 μοίρες και μπορεί να φέρει 9 πάνελ.

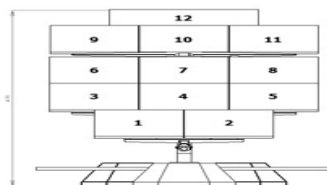


Εικόνα 1

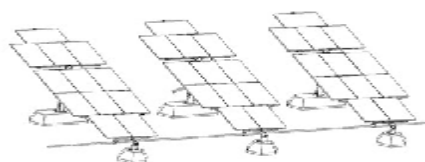


Εικόνα 2

IRIS 12: Στις εικόνες 3 και 4 βλέπουμε σύστημα φωτοβολταϊκών ηλιοστατών με ομαδοποιημένο τρόπο κίνησης όπως στον τύπο *IRIS 9L*. Το ύψος του κάθε ηλιοστάτη είναι 4 m, η κλίση του άξονά του είναι 20 μοίρες και μπορεί να φέρει 12 πάνελα.



Εικόνα 3



Εικόνα 4

- **Διαξονικοί ηλιοστάτες (trackers)**

Οι διαξονικοί ηλιοστάτες διαφόρων τύπων παρακολουθούν την τροχιά του ήλιου καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας, παράγοντας ενέργεια έως και 40% περισσότερη από ότι οι σταθερές βάσεις, αυξάνοντας ανάλογα και τις αποδοχές.

Στερεώνοντας τα φωτοβολταϊκά πάνω σε σύστημα με δύο άξονες παρακολούθησης του Ηλίου, μπορεί να συλλεχθεί μέχρι 25% περισσότερη ηλιακή ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός έτους, σε σύγκριση με την εγκατάσταση σταθερής κλίσης. Κάτι τέτοιο όμως αυξάνει την πολυπλοκότητα και έχει ως αποτέλεσμα μια χαμηλότερης αξιοπιστίας και υψηλότερου κόστους συντήρησης.

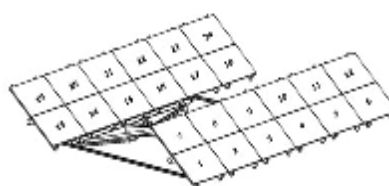
Τύπος SUNFLEX

Ένα πλεονέκτημα σε σχέση με τους υπόλοιπους ηλιοστάτες είναι ότι τα πάνελ βρίσκονται χαμηλά καθιστώντας εύκολο τον καθαρισμό τους.

SUNFLEX 50: Ο ηλιοστάτης 2 αξόνων που απεικονίζεται στις εικόνες 5 και 6 αποτελείται από δύο ανισοϋψείς συστοιχίες που μπορούν να φέρουν έως και 24 πάνελ. Το ύψος του ηλιοστάτη δεν ξεπερνάει τα 2,5 μέτρα όταν τα πάνελ βρίσκονται σε κλίση 45 μοίρες. Μέγιστη κλίση 60 μοίρες.



Εικόνα 5



Εικόνα 6

SUNFLEX 100: Ο ηλιοστάτης 2 αξόνων που απεικονίζεται στις εικόνες 7 και 8 αποτελείται από τρεις ανισοϋψείς συστοιχίες που μπορούν να φέρουν έως και 42 πάνελ. Το ύψος του δεν ξεπερνάει τα 2,5 μέτρα όταν τα πάνελ βρίσκονται σε κλίση 40 μοίρες (μέγιστη).

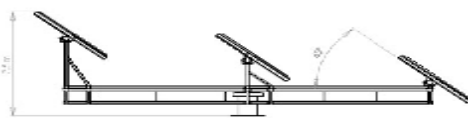


Εικόνα 7

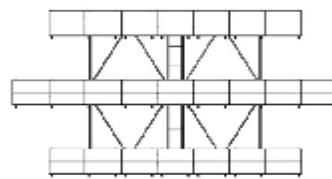


Εικόνα 8

SUNFLEX 200: Ο ηλιοστάτης 2 αξόνων που απεικονίζεται στις εικόνες 9 και 10 αποτελείται από τρεις ανισοϋψείς συστοιχίες που μπορούν να φέρουν έως και 46 πάνελ. Το ύψος του είναι 3,5 μέτρα, όταν τα πάνελ βρίσκονται σε κλίση 45 μοίρες. Μέγιστη κλίση 60 μοίρες.



Εικόνα 9



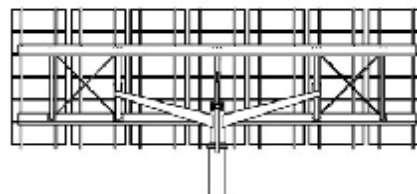
Εικόνα 10

Τύπος APOLLON

APOLLON 42: Ο ηλιοστάτης 2 αξόνων που απεικονίζεται στις εικόνες 11 και 12 μπορεί να φέρει έως 42 πάνελ σε ενιαία επιφάνεια. Το ύψος του φτάνει τα 6 μέτρα όταν τα panel βρίσκονται σε κλίση 45 μοίρες.



Εικόνα 11



Εικόνα 12

Τύπος Mini-Tracker

Η κίνηση γίνεται αυτόματα, με δύο ηλεκτρικά έμβολα χαμηλού κόστους. Το μέγιστο ύψος δεν ξεπερνά τα 2,5 m.



Mini-Tracker 2L : 2 πάνελ καθ' ύψος



Mini-Tracker 3L: 3 πάνελ καθ' ύψος

1.5.3.ΦΒ Συστήματα Σε Κτίρια

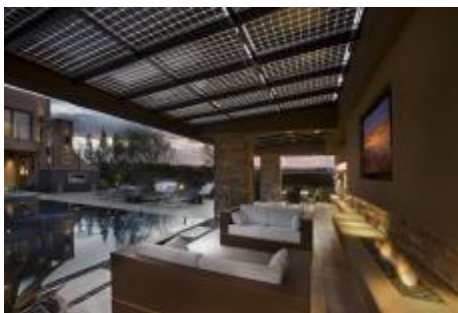
Τα ενσωματωμένα σε κτίρια ΦΒ πλαίσια μπορούν να αποτελούν ταυτόχρονα ενεργά στοιχεία με την ηλεκτροπαραγωγή αλλά και παθητικά στοιχεία που συντελούν στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου. Όλα όσα ανέφερα πραγματοποιούνται κυρίως από ΦΒ πλαίσια τα οποία επιτρέπουν την διέλευση φωτός, προκαλούν σκίαση ή ενισχύουν τον αερισμό των εσωτερικών χώρων.

Ακόμα υπάρχουν υβριδικά ΦΒ – θερμικά συστήματα, τα οποία αξιοποιούν την θερμοκρασία που αναπτύσσεται στα ΦΒ πλαίσια για την θέρμανση αέρα ή νερού, βελτιώνοντας ταυτόχρονα τον στιγμιαίο συντελεστή απόδοσης του πλαισίου.

Η διττή λειτουργικότητα επιτυγχάνεται εν μέρει και με τα συμβατικά ΦΒ πλαίσια με την σωστή αξιοποίησή τους. Υπάρχουν όμως ειδικά πολυχρηστικά ΦΒ πλαίσια, τα οποία είναι κατασκευασμένα για ορισμένο τρόπο χρήσης, ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν στις μηχανολογικές και πρακτικές απαιτήσεις ενός κτιρίου, πληρώνοντας πάντα τις οδηγίες περί κατασκευής κτιρίων.

Τα ΦΒ πλαίσια κτιρίων συνδυάζουν ένα κρυσταλλικό wafer με ένα λεπτό στρώμα αμόρφου πυριτίου. Αυτός ο έξυπνος συνδυασμός προσφέρει τα πλεονεκτήματα και των δύο τεχνολογιών και έχει ως αποτέλεσμα η απόδοση του φωτοβολταϊκού πλαισίου να είναι κατά 28% μεγαλύτερη από μέσο όρο της αγοράς. Ο θερμοκρασιακός συντελεστής επίσης επηρεάζεται θετικά από τον παραπάνω συνδυασμό.

Τα παραπάνω σημαίνουν ότι τα συγκεκριμένα φωτοβολταϊκά πλαίσια εγγυώνται υψηλή εγκατεστημένη ισχύ στο μικρότερο δυνατό χώρο και υψηλή παραγωγή ενέργειας σε υψηλές θερμοκρασίες, χαρακτηριστικά που τα καθιστούν ιδανικά για εφαρμογή σε στέγες/οροφές κτιρίων.



εικόνα 1.2.

ΦΒ πλαίσιο οροφής κτιρίου επιτρέπει την διέλευση φωτός



εικόνα 1.3.

ΦΒ πλαίσιο όψης κτιρίου προκαλεί σκίαση

1.5.4.ΦΒ Συστήματα Σε Ουρανοξύστες

Ένα παγκόσμιο κίνημα 'πράσινων' ουρανοξυστών, στο οποίο συμμετέχουν αρχιτέκτονες, μηχανικοί, προγραμματιστές, πελάτες αλλά και κυβερνήσεις βρίσκεται σε εξέλιξη τα τελευταία χρόνια. Αυτά τα κτίρια αναμένεται να διαμορφώσουν το μέλλον των υψηλών κατασκευών, χρησιμοποιώντας αιφορικές τεχνολογίες σε μία νέα κλίμακα. Ωστόσο, η έννοια ουρανοξύστης, τις περισσότερες φορές, σημαίνει σπατάλη ενέργειας, πόρων, υλικών αλλά και χρημάτων. Κάτι τέτοιο έρχεται σε αντίθεση με την αιφορική λογική, η οποία προωθεί κατασκευές σύμφωνα με τις

πραγματικές ανθρώπινες ανάγκες και με γνώμονα το φυσικό περιβάλλον και την προστασία του.

Στην εικόνα 1.4. βλέπουμε έναν ουρανοξύστη στην **Asia Square, Σιγκαπούρη**. Η συγκεκριμένη κατασκευή που είναι σχεδιασμένη από τις αρχιτεκτονικές ομάδες 'Denton Corker Marshall' και 'Architect 61' αποτελείται από 2 ουρανοξύστες 221 και 229 μέτρων. Είναι ένα συγκρότημα μικτών χρήσεων που περιλαμβάνει χώρους εμπορίου, γραφεία καθώς και ένα ξενοδοχείο πολυτελείας. Ο ένας ουρανοξύστης έχει ήδη ολοκληρωθεί από το 2011, ενώ ο δεύτερος αναμένεται να είναι έτοιμος μέχρι το τέλος του 2013. Ο σχεδιασμός του κτιρίου περιλαμβάνει αρκετά χαρακτηριστικά που ενισχύουν τον αειφορικό του χαρακτήρα. Αναμένεται να περιλαμβάνει τη μεγαλύτερη εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συλλεκτών σε οροφή κτιρίου στη Σιγκαπούρη, καθώς επίσης και την πρώτη μονάδα συμπαραγωγής ενέργειας που λειτουργεί με βιοντίζελ σε κτίρια τέτοιου είδους. Επιπλέον, ο σχεδιασμός του κτιρίου ενσωματώνει στοιχεία για την ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης, όπως βέλτιστη θερμομόνωση του κελύφους και αποδοτικό εξοπλισμό. Το κτίριο έλαβε την πλατινένια πιστοποίηση LEED του 'Συμβουλίου Πράσινων κτιρίων των Ηνωμένων Πολιτειών' [USGBC], αποτελώντας ένα από το πιο ενεργειακά αποδοτικά κτίρια της Ασίας.



εικόνα 1.4.

1.5.5. Τρισδιάστατα Φωτοβολταϊκά Κάθετης Διάταξης – Επαναστατική Τεχνολογία Του MIT



εικόνα 1.5

Η έρευνα για την εκμετάλλευση του ήλιου επικεντρώνεται διεθνώς στη βελτίωση της απόδοσης των φωτοβολταϊκών κυττάρων και στη μείωση του κόστους παραγωγής τους.

Ωστόσο, πολύ μικρή σημασία έχει δοθεί στη μελέτη της διάταξης των κυττάρων τα οποία τοποθετούνται συνήθως σε επίπεδες χερσαίες επιφάνειες και στέγες ή παρακολουθούν την κίνηση του ήλιου καθώς αυτός διασχίζει τον ουράνιο θόλο.

Μια ερευνητική ομάδα του *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* ακολουθεί μια διαφορετική προσέγγιση: την κατασκευή κύβων ή πύργων με κάθετες, τρισδιάστατες διατάξεις φωτοβολταϊκών κυττάρων. Τα πρώτα πειράματα έχουν δείξει πως η απόδοση των εν λόγω φωτοβολταϊκών είναι από δύο έως 20 φορές υψηλότερη εκείνης των επίπεδων φωτοβολταϊκών στην ίδια έκταση.

Οι μεγαλύτερες διαφορές παρατηρήθηκαν εκεί όπου οι συνθήκες κάθε άλλο παρά ιδανικές για την εκμετάλλευση του ήλιου μπορούν να χαρακτηριστούν: σε περιοχές απομακρυσμένες από τον ισημερινό, κατά τους χειμερινούς μήνες και σε συννεφιασμένες μέρες. Τα ευρήματα της έρευνας η οποία βασίστηκε τόσο σε μοντελοποίηση όσο και σε πειράματα στο ύπαιθρο δημοσιεύονται στην επιθεώρηση *Energy and Environmental Science*.

Η έρευνα έδειξε πως το υψηλό κόστος της ενέργειας που παράγεται από τα “τρειςδιάστατα” φωτοβολταϊκά συγκριτικά με τα επίπεδα αντισταθμίζεται μερικώς από την πολύ υψηλότερη απόδοση σε συγκεκριμένη έκταση, όπως επίσης και από τη μικρή διακύμανση στην ηλεκτροπαραγωγή κατά τη διάρκεια της ημέρας ανεξαρτήτως νεφώσεων ή άλλων συνθηκών.

Οι βελτιώσεις αυτές καθιστούν την παραγωγή ενέργειας από φωτοβολταϊκά περισσότερο προβλέψιμη και ομοιόμορφη, πράγμα που θα μπορούσε να διευκολύνει την ενσωμάτωσή τους στα δίκτυα ηλεκτρικού ρεύματος.

Αιτία της καλύτερης απόδοσης είναι η ικανότητα των τρισδιάστατων διατάξεων να συλλέγουν υψηλότερες ποσότητες ηλιακού φωτός τις πρώτες πρωινές ώρες, τα απογεύματα και τους χειμερινούς μήνες όταν ο ήλιος βρίσκεται κοντύτερα στον ορίζοντα.

Η ερευνητική ομάδα εκτιμά πως η τεχνολογία των τρισδιάστατων φωτοβολταϊκών θα επωφεληθεί από τη μείωση του κόστους εξοπλισμού που καταγράφεται τα τελευταία χρόνια και θα συμβάλλουν στην ανάπτυξη της αγοράς.

1.6.ΝΕΑ ΕΙΔΗ ΚΥΤΤΑΡΩΝ - ΚΥΤΤΑΡΑ ΤΡΙΤΗΣ ΓΕΝΙΑΣ (ΠΙΓ)

Υπάρχουν πολλά άλλα είδη φωτοβολταϊκών τεχνολογιών που έχουν αναπτυχθεί σήμερα και διατίθενται στο εμπόριο ή είναι ακόμα σε ερευνητικό επίπεδο. Οι κυριότερες από αυτές είναι:

1.6.1.Συμπυκνωμένα Φωτοβολταϊκά

Μερικά ηλιακά κύτταρα έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν με συμπυκνωμένο φως του ήλιου. Αυτά τα κύτταρα έχουν κατασκευαστεί με συγκεντρωση συλλέκτες που χρησιμοποιούν έναν φακό για να εστιάσει το φως του ήλιου πάνω στα κύτταρα. Οι συγκεντρωτικές κυψέλες λειτουργούν με την εστίαση του φωτός σε μια μικρή περιοχή χρησιμοποιώντας ένα οπτικό συγκεντρωτή, όπως ένα φακό Fresnel. Η μικρή περιοχή μπορεί στη συνέχεια να είναι εξοπλισμένη με ένα υλικό φτιαγμένο από III-ένωση V ημι-αγωγούς (πολλαπλών διασταύρωση Γαλλίου αρσενιούχου τύπου), οι οποίες έχουν αποδόσεις από 30 % και σε εργαστήρια μέχρι 40 % .

Τα δύο κύρια μειονεκτήματα με τα συστήματα συγκεντρωτή είναι ότι δεν μπορούν να κάνουν χρήση του διάχυτου φωτός του ήλιου και πρέπει πάντα να κατευθύνονται με μεγάλη ακρίβεια προς τον ήλιο με παρακολούθηση συστήματος.

Η κύρια ιδέα είναι να χρησιμοποιούν πολύ λίγο από το ακριβό υλικό ημιαγωγού PV ενώ η είσπραξη όσο το δυνατόν περισσότερο φως του ήλιου.

Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στην αρχή της συμπακνώσεως του φωτός σε μικρές πολλαπλές-ενώσεις (multijunction) κύτταρων. Με δεδομένη την έντονη θερμότητα που αναπτύσσεται από τα κύτταρα που χρειάζονται γαλλίου (GaAs) .

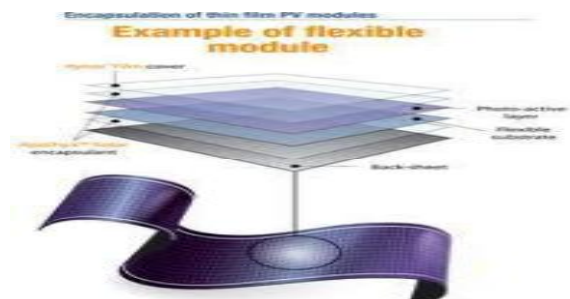
Η συγκέντρωση επιτυγχάνεται με φακούς Fresnel που έφθασαν σήμερα να παράγουν συγκέντρωση έως χίλιους ήλιους. Με αυτήν την τεχνολογία μπορείτε να πάρετε μέχρι και 40% απόδοση των κυττάρων.



συμπυκνωμένο φωτοβολταϊκό

1.6.2.Ευέλικτα Κύτταρα

Τα Ευέλικτα Κύτταρα βασίζονται σε μια παρόμοια διαδικασία παραγωγής με τα κύτταρα λεπτού υμενίου. Όταν το δραστικό υλικό τοποθετηθεί σε ένα λεπτό πλαστικό , το κύτταρο μπορεί να γίνει ελαστικό. Αυτό ανοίγει το φάσμα των εφαρμογών, ειδικά για ενσωμάτωση σε κτίρια (στέγες, κεραμίδια) και του τελικού καταναλωτή εφαρμογές.

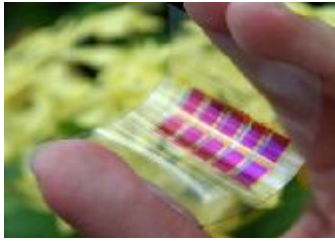


ευέλικτα ηλιακά κύτταρα

1.6.3.Κύτταρα Οργανικά / Υβριδικά

Τα κύτταρα οργανικά / υβριδικά είναι υπό μελέτη και την τεχνολογική ωριμότητα οργανικές ηλιακές κυψέλες "χρωματικά ευαισθητοποιημένες" με DSSC χρήση ηλεκτροχημικών διαδικασιών παρόμοιες με εκείνες της φωτοσύνθεσης των φύλλων.

Το φωτοηλεκτρικό ενεργό μέρος αποτελείται από μια οργανική χρωστική, από οξείδιο του τιτανίου (TiO_2) και ένας ηλεκτρολύτης . Η μελανίνη (οργανική ένωση) απορροφά την υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία δεν είναι χρήσιμη για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή, και ανακτά ορατό φως χρήσιμο για το φωτοβολταϊκό φαινόμενο.



Οργανικό ηλιακό κύτταρο

1.6.4.Κύτταρα Νανοσύρματα

Προκειμένου να αυξηθεί η αποτελεσματικότητα της μετατροπής μελετώνται φωτοβολταϊκά κύτταρα που αποτελούνται από νανοσύρματα. Τα νανοσύρματα είναι μικροσκοπικές δομές παρόμοιες με τα νήματα και ενεργούν στα κύτταρα. Έχουν χαμηλό συντελεστή ανάκλασης, είναι όμως σε θέση να παγιδεύσουν ένα μεγάλο μέρος της ηλιακή ακτινοβολία χρήσιμου φωτοβολταϊκού φαινομένου. Τα νανοσύρματα μπορούν να ενισχυθούν με μονωτικό ρητίνες.

1.6.5. Κύτταρα μικροκρυσταλλικά (a-Si/μc-Si)

Η δημιουργία υβριδικών ΦΒ πάνελ με συνδυασμένη χρήση μικροκρυσταλλικού (μc-Si) και άμορφου πυριτίου (a-Si) έρχεται στο προσκήνιο. Τα εν λόγω πάνελ έχουν δομή δύο επιστρώσεων, με την πρώτη να δημιουργείται με άμορφο και τη δεύτερη με μικροκρυσταλλικό πυρίτιο. Με αυτό τον τρόπο ξεπεράστηκαν οι προηγούμενοι περιορισμοί και επιτεύχθηκαν υψηλότερες αποδόσεις. Τα αρχικά βήματα στην διαδικασία παραγωγής είναι όμοια με εκείνα των τυπικών άμορφων πλαισίων καθώς περιλαμβάνουν την απόθεση του στρώματος TCO στο γυαλί της εμπρόσθιας επιφάνειας και τη δημιουργία της επίστρωσης άμορφου πυριτίου. Απόθεση της δεύτερης επίστρωσης μικροκρυσταλλικού υλικού γίνεται μετά τη δημιουργία του άμορφου στρώματος. Η συνέχεια για την ολοκλήρωση της δομής του πλαισίου ακολουθεί την συνήθη διαδικασία. Δεν απαιτούνται υψηλότερες θερμοκρασίες για την επεξεργασία των υλικών κατά τη διαδικασία παραγωγής.

Η δομή διπλής επίστρωσης ημιαγωγών προσφέρει καλύτερη αξιοποίηση του φάσματος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας καθώς τα δύο επίπεδα πυριτίου μετατρέπουν μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας σε ηλεκτρισμό. Ως εκ τούτου, τα ΦΒ πλαίσια η δομή των οποίων βασίζεται σε μικροκρυσταλλικό πυρίτιο είναι 50% πιο αποδοτικά από τα αντίστοιχα τεχνολογίας άμορφου πυριτίου.

Παρατηρείται ότι η παραγωγή είναι συγκρίσιμη τους χειμερινούς μήνες, αλλά τον υπόλοιπο χρόνο, που οι θερμοκρασίες περιβάλλοντος είναι υψηλότερες, το μικροκρυσταλλικό/ άμορφο σύστημα έχει υψηλότερη παραγωγή. Αυτό οφείλεται κυρίως στον χαμηλότερο θερμοκρασιακό συντελεστή ισχύος των πλαισίων a-Si/μc-Si, που σημαίνει μικρότερες απώλειες στις υψηλές θερμοκρασίες. Επιπλέον το εν λόγω υλικό παρουσιάζει καλύτερη απορρόφηση της διάχυτης ακτινοβολίας

1.7.ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα έχουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Τεχνολογία φιλική στο περιβάλλον: δεν προκαλούνται ρύποι από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, διατίθεται παντού και δεν στοιχίζει απολύτως τίποτα
- Με την κατάλληλη γεωγραφική κατανομή, κοντά στους αντίστοιχους καταναλωτές ενέργειας, τα Φ/Β συστήματα μπορούν να εγκατασταθούν χωρίς να απαιτείται ενίσχυση του δικτύου διανομής
- Η λειτουργία του συστήματος είναι ολοσχερώς αθόρυβη
- Έχουν σχεδόν μηδενικές απαιτήσεις συντήρησης
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής, οι κατασκευαστές εγγυώνται τα «κρύσταλλα» για 20-30 χρόνια λειτουργίας
- Υπάρχει πάντα η δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, ώστε να ανταποκρίνονται στις αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών
- Μπορούν να εγκατασταθούν πάνω σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές, όπως είναι π.χ. η στέγη ενός σπιτιού ή η πρόσοψη ενός κτιρίου
- Διαθέτουν ευελιξία στις εφαρμογές, τα Φ/Β συστήματα λειτουργούν άριστα τόσο ως αυτόνομα συστήματα, όσο και ως αυτόνομα υβριδικά συστήματα όταν συνδυάζονται με άλλες πηγές ενέργειας (συμβατικές ή ανανεώσιμες) και συσσωρευτές για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας. Επιπλέον, ένα μεγάλο πλεονέκτημα του Φ/Β συστήματος είναι ότι μπορεί να διασυνδεθεί με το δίκτυο ηλεκτροδότησης (διασυνδεδεμένο σύστημα), καταργώντας με τον τρόπο αυτό την ανάγκη για εφεδρεία και δίνοντας επιπλέον τη δυνατότητα στον χρήστη να πωλήσει τυχόν πλεονάζουσα ενέργεια στον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου.

1.8.ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Ως μειονέκτημα θα μπορούσε να καταλογίσει κανείς στα ΦΒ συστήματα το κόστος τους, το οποίο, παρά τις τεχνολογικές εξελίξεις παραμένει ακόμη αρκετά υψηλό. Λαμβάνοντας υπόψη ότι μια τυπική οικιακή κατανάλωση απαιτεί από 1,5 έως 3,5 κιλοβάτ, το κόστος της εγκατάστασης δεν είναι αμελητέο. Το ποσό αυτό, ωστόσο, μπορεί να αποσβεστεί σε περίπου 5-6 χρόνια και το Φ/Β σύστημα θα συνεχίσει να παράγει δωρεάν ενέργεια για τουλάχιστον άλλα 25 χρόνια. Ωστόσο, τα πλεονεκτήματα είναι πολλά, και το ευρύ κοινό έχει αρχίσει να στρέφεται όλο και πιο πολύ στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στα ΦΒ ειδικότερα, για την κάλυψη ή την συμπλήρωση των ενεργειακών του αναγκών.

ΚΕΦ 2^ο - ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΟΣ PV PANEL

Εισαγωγή

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας μου αναφέρομαι αναλυτικά στα στάδια παραγωγής ενός pv πάνελ και στις διαδικασίες που τα αποτελούν.

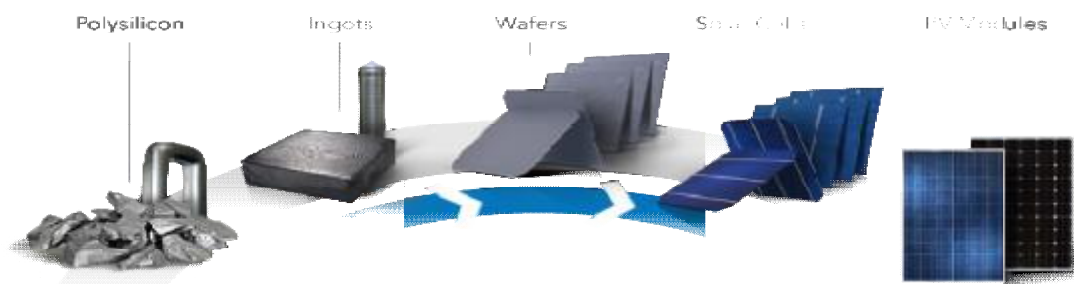
Στην αρχή θα εξηγήσω τα στάδια παραγωγής ενός κρυσταλλικού (c-Si) πάνελ (εικόνα 2.1), τα οποία χωρίζονται σε: Μονοκρυσταλλικά (sc-Si), Πολυκρυσταλλικά (mc-Si) και Ταινία Πυριτίου (Ribbon-Si). Το βασικό υλικό για τη παραγωγή ενός c-Si πάνελ είναι το πυρίτιο (silicon), το οποίο όμως για να μπορέσουμε να το χρησιμοποιήσουμε πρέπει να το επεξεργαστούμε.

Στη συνέχεια με διάφορες επεξεργασίες και μεθόδους (που αναφέρονται στη συνέχεια) μετατρέπουμε το πυρίτιο σε πολυπυρίτιο σε ράβδους πυριτίου και τέλος σε κύβους πυριτίου, οι οποίοι κόβονται και δημιουργούν την ηλιακή κυψέλη (wafer), την οποία στη συνέχεια της προσθέτουμε p-n ενώσεις και κύκλωμα bus-bar και την μετατρέπουμε σε ηλιακό κύτταρο (solar cell) και τέλος σε φωτοβολταϊκή μονάδα (pv module ή solar panel). Όλες οι διαδικασίες γίνονται αυτοματοποιημένα με μηχανήματα.

Στη συνέχεια αναφέρω τις Ταινίες Πυριτίου ως λιγότερο ενεργοβόρες διαδικασίες, είναι μια νέα τεχνολογία παραγωγής pv πάνελ και εξηγώ τις δύο εμπορικές τεχνικές (EFG και STR) που χρησιμοποιούνται.

Έπειτα αναφέρομαι στα ΦΒ Λεπτού Υμενίου (Thin Film), τις κύριες διαδικασίες παραγωγής τους και αναλύω τα στάδια παραγωγής όλων των τύπων τους (Δισεληνοϊνδιούχος χαλκός (CIS, CIGS), Άμορφο Πυρίτιο (a-Si), Τελουριούχο Κάδμιο (CdTe) και Αρσενικούχο Γάλλιο (GaAs)).

Στο τέλος αναλύω την πιο γνωστή και υλοποιήσιμη ,μέχρι στιγμής, υβριδική τεχνολογία Heterojunction with Intrinsic Thin-Layer (HIT).



εικόνα 2.1

2.1. ΠΡΩΤΕΣ ΥΔΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ ΠΥΡΙΤΙΟΥ (ΠΟΛΥΠΥΡΙΤΙΟΥ)

2.1.1.ΠΥΡΙΤΙΟ

2.1.1.1.Ιστορικά Στοιχεία Για Την Ανακάλυψη Του Πυριτίου

Το πυρίτιο χρησιμοποιείται για τη παρασκευή εργαλείων κατά την παλαιολιθική εποχή γιατί ήταν το πιο συνηθισμένο πέτρωμα. Ως στοιχείο δεν απαντά ελεύθερο στη φύση. Τα διάφορα ορυκτά και πετρώματα του πυριτίου αποτελούν το 87% του φλοιού της Γης, ενώ είναι το δεύτερο σε αφθονία χημικό στοιχείο στο στερεό φλοιό της Γης μετά το οξυγόνο.

Το πυρίτιο παρασκευάστηκε για πρώτη φορά από τον Davy το 1800, ο οποίος τις δεν το ταυτοποίησε ως χημικό στοιχείο. Ακολουθώντας τις εργασίες των Τενάρ (Thenard) και Γκέι- Λισάκ (Gay-Lussac)(1811), ο Σουηδός χημικός Γιονς Γιάκομπ Μπερτσέλιους (Berzelius), το 1824 παρασκεύασε άμορφο πυρίτιο συνθεμαίνοντας κάλιο με τετραφθοριούχο πυρίτιο.

Το 1854 ο Deville, πρώτος παρασκεύασε το πυρίτιο στη δεύτερη αλλοτροπική μορφή του, την κρυσταλλική. Το κρυσταλλικό πυρίτιο έχει μεταλλική λάμψη, είναι σκληρό και έχει σκούρο γκρι χρώμα.

2.1.1.2. Γενικά Για Το Πυρίτιο

Το πυρίτιο είναι ημιαγωγός με έμμεσο ενεργειακό διάκενο 1,1eV. Αν και το ότι έχει έμμεσο και σχετικά μικρή τιμή ενεργειακού διακένου δεν είναι ιδεώδεις για την φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας, το πυρίτιο είναι ο ημιαγωγός που κυριάρχησε από την αρχή αλλά μέχρι και σήμερα, σαν υλικό κατασκευής ηλιακών στοιχείων.

Οι λόγοι για τις οποίους συμβαίνει αυτό έχουν να κάνουν με το γεγονός ότι το πυρίτιο είναι το κύριο υλικό των διατάξεων ηλεκτρονικής για τις δεκαετίες. Επομένως οι ιδιότητες του είναι καλά μελετημένες και το υλικό κυκλοφορεί στη αγορά σε αρκετά μεγάλες ποσότητες, με ικανοποιητική χημική καθαρότητα και τελειότητα κρυσταλλικής δομής, με την χρησιμοποίηση τεχνολογικών μεθόδων δοκιμασμένων με επιτυχία. Επιπλέον τα φωτοβολταϊκά στοιχεία πυριτίου έχουν λειτουργήσει με απόλυτα ικανοποιητική αξιοπιστία σε ακραίες καιρικές συνθήκες, τόσο σε διαστημικές όσο και σε επίγειες εφαρμογές.

Εκτός του οξυγόνου, το πυρίτιο είναι το πιο άφθονο στοιχείο στην επιφάνεια του εδάφους. Ποτέ δεν εμφανίζεται ελεύθερο στη φύση, αλλά και σε συνδυασμό με οξυγόνο σχηματίζοντας οξειδίακα πυριτικά άλατα, συγκεκριμένα ως διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2). Για την αξιοποίησή του, επομένως, απαιτείται επεξεργασία έτσι ώστε να αποκτήσει υψηλή καθαρότητα.

2.1.1.3. Παραγωγή Μεταλλουργικού Πυριτίου

2.1.1.3.1 Η ανθρακοθερμική μείωση του διοξειδίου του πυριτίου

Το μεταλλουργικό πυρίτιο, που ονομάζεται τις μεταλλικό πυρίτιο, με μία τυπική καθαρότητα Si 98,5% παράγεται σε καμίνοους ηλεκτρικού τόξου. Η ηλεκτρική κάμινο αποτελείται ουσιαστικά από ένα δοχείο γεμάτο με χαλαζία και υλικά άνθρακα. Το πυρίτιο έχει απελευθερωθεί από τη μείωση ανθρακοθερμική πυριτίας σύμφωνα με την συνολική αντίδραση: $SiO_2 (ων) + 2C (s) = Si (L) + 2CO + (ζ)$

Αντίθετα από τα δημοφιλή άρθρα ή σχόλια, η άμμος διοξειδίου του πυριτίου επί του παρόντος δεν χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό, αλλά προτιμάται άμορφος χαλαζίας (π.χ. 10-100 mm) με την κατάλληλη καθαρότητα και θερμική αντίσταση.

Οι πρώτες ύλες, τόσο χαλαζία και του άνθρακα, που επιλέγονται προκειμένου να επιτευχθεί υψηλή ποιότητα των προϊόντων (πυρίτιο και πυριτική παιπάλη). Το

ακατέργαστο υλικό αντιδραστικότητα και η συνεκτικότητα του μίγματος των πρώτων υλών στην γόμωση, είναι εξαιρετικά σημαντικοί παράγοντες για την επίτευξη καλής απόδοσης κλιβάνου από την άποψη τις υψηλής απόδοσης υλικού, χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και την καλή ποιότητα του προϊόντος.

Το μείγμα πρώτης ύλης ή φορτίο θερμαίνεται μέσω τις έντονου ηλεκτρικού τόξου που υπέστησαν οι άκρες των τριών βυθισμένων ηλεκτροδίων και την ηλεκτρική γείωση του κλιβάνου. Μολονότι υπάρχουν σημαντικές εξαιρέσεις, η τρέχουσα πρακτική είναι να τρέξει τη διαδικασία αυτή σε ένα τριφασικό ρεύμα, σε έναν ανοικτό και περιστρεφόμενο κλίβανο με ηλεκτρικό φορτίο που εργάζονται συνήθως μεταξύ 10 και 30 MW, ανάλογα με το μέγεθος του κλιβάνου. Η τάση είναι να αυξηθεί το μέγεθος του κλιβάνου και του ηλεκτρικού φορτίου, ώστε να επιτευχθεί υψηλότερη απόδοση και την παραγωγικότητα.

Υγρό μέταλλο πυριτίου αξιοποιείται από τον πυθμένα του κλιβάνου, και τα καλά αναμειγμένο πρώτων υλών που χρεώνονται στην κορυφή.

Για να κατανοήσουμε τις διαδικασίες που συμβαίνουν στον κλίβανο, είναι βολικό να χωρίσει εννοιολογικά την αντίδραση κλιβάνου εσωτερικό χώρο σε μια εσωτερική θερμή ζώνη και μία εξωτερική ψυχρή ζώνη. Το υγρό πυρίτιο παράγεται στην εσωτερική ζώνη. Η θερμοκρασία στο εσωτερικό ζώνης είναι στην κλίμακα από 1900 έως 2100 °C, επιτρέποντας μια υψηλή αναλογία SiO σε αυτή τη ζώνη, η οποία είναι απαραίτητη. Στην εξωτερική ζώνη, όπου η θερμοκρασία είναι κάτω από 1900 °C, το SiO και το CO που προέρχονται από την εσωτερική ζώνη και αντιδρούν με ελεύθερο άνθρακα.

Οι πρώτες ύλες τροφοδοτούνται σε μικρές παρτίδες με τακτά χρονικά διαστήματα και με σύνεση διανέμονται στην κορυφή του φορτίου. Το υγρό πυρίτιο σε τακτά χρονικά διαστήματα αποστραγγίζεται από τον πυθμένα του κλιβάνου, ενώ τα καυσαέρια και οι αναθυμιάσεις περνούν μέσα από το φίλτρο για να καθαριστούν και να ανακτηθεί το διοξείδιο του πυριτίου.

Οι ατμοί διοξειδίου του πυριτίου αποτελούνται κυρίως από πολύ λεπτά σωματίδια άμορφου πυριτίου μικρότερα από 1 μm, και διέρχονται μέσα από πανιά φίλτρου που έχουν εγκατασταθεί σε μεγάλους συλλέκτες που γειτονεύουν με τις καμίνους. Η συλλογή άμορφου λεπτού διαιρεμένου πυριτίου βρίσκει πολύτιμες εφαρμογές ως πρόσθετα σκυροδέματος και πυρίμαχων. Ανάλογα με την ποιότητα των πρώτων υλών που χρησιμοποιούνται και την επιχειρησιακή στρατηγική και δεξιότητες, η απόδοση πυριτίου ως μεταλλουργικό κυμαίνεται πυριτίου από 80 έως 90%, το υπόλοιπο που προκύπτει σε πυριτική παιπάλη.

Το ακάθαρμο υγρό πυρίτιο περιέχει 1 έως 3% προσμίξεις ανάλογα με τις πρώτες ύλες και τον τύπο των ηλεκτροδίων. Οι κύριες ακαθαρσίες είναι: Fe: 0,2-1%, Al: 0,4-0,7%, Ca: 0.2-0.6%, Ti: 0,1 έως 0,02%, C: 0,1-0,15%.

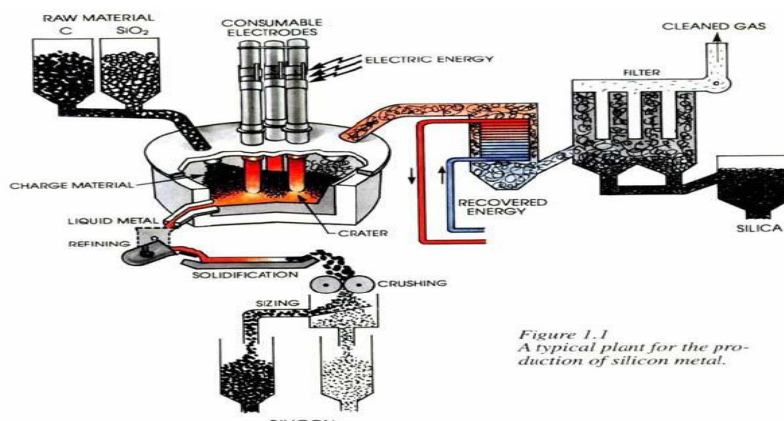


Figure 1.1
A typical plant for the production of silicon metal.

σχηματική αναπαράσταση ενός κλιβάνου για την παραγωγή μεταλλουργικού πυριτίου

2.1.1.3.2. Η Διύλιση Πυριτίου

Οι περισσότερες από τις εφαρμογές του πυριτίου όπως περιγράφηκε παραπάνω απαιτούν περαιτέρω επεξεργασία. Το ακατέργαστο πυρίτιο ως εκ τούτου αξιοποιείται ως υγρό σε μεγάλες κουτάλες (που περιέχει έως 10 MT του πυριτίου) και να αντιμετωπίζονται, όταν ακόμα υγρό με οξειδωτικό αέριο και η σκωρία που σχηματίζουν πρόσθετα, κυρίως πυριτικής άμμου (SiO_2) και άσβεστος / ασβεστόλιθος (CaO/CaCO_3). Τα στοιχεία λιγότερο ευγενή από πυρίτιο, όπως Al, Ca και Mg οξειδωμένα και το βαθμό διύλισης προσδιορίζεται από ισορροπίες διανομής.

Θεωρητικά είναι δυνατό να αφαιρεθεί Al και Ca σε πολύ χαμηλά επίπεδα, αλλά στην πράξη αυτό εμποδίζεται από τις μεγάλες απώλειες θερμότητας που συμβαίνουν κατά τη διάρκεια αυτής της λειτουργίας. Πέφτει η θερμοκρασία 1700-1500 °C, για να αποφευχθεί η κατάψυξη του τήγματος, μερικό από το διοξείδιο του πυριτίου που απαιτείται για το σχηματισμό σκωρίας παρέχεται από την άμεση οξείδωση του Si για να θερμάνει το πυρίτιο και να το κρατήσει υγρό. Ένα μειονέκτημα αυτής της λειτουργίας είναι η απώλεια του πυριτίου.

Μετά την ολοκλήρωση της οξειδωτικής διύλισης στην κουτάλα, η σκωρία, η οποία περιέχει μέρος των ακαθαρσιών, αφαιρείται μηχανικά ή με τη βαρύτητα και το υγρό πυρίτιο χύνεται σε ένα καλούπι χύτευσης. Η σκωρία που σχηματίζει πρόσθετα επηρεάζει την πυκνότητα της και το ιξώδες, ως εκ τούτου, η πρακτική διαχωρισμού της σκωρίας και ο τελικός καθαρότητα του πυριτίου χύνεται. Είναι επαρκώς διαφορετικές ιδιότητες στην πυκνότητα και το ιξώδες τόσο της σκωρίας όσο και της τετηγμένης σιλικόνης που απαιτείται για να επιτευχθεί ένας καλός διαχωρισμός.

Ο άνθρακας βρίσκεται στο ακατέργαστο υγρό πυρίτιο κυρίως ως διαλυόμενο C και τα αιωρούμενα σωματίδια SiC. Το κλάσμα του SiC αυξάνεται καθώς η θερμοκρασία χαμηλώνει. Τα SiC σωματίδια κατόπιν συλλαμβάνονται από την φάση σκωρίας και έτσι απομακρύνονται από το υγρό πυρίτιο κατά τη διάρκεια της θεραπείας κουτάλας και την επακόλουθη έκχυση. Τα SiC σωματίδια απομακρύνονται επίσης απλά με μηχανικό διαχωρισμό, τα σωματίδια καθιζάνουν και κολλάνε στα τοιχώματα του κάδου και στις άλλες συσκευές που περιέχουν το υγρό πυρίτιο. Ο Διαλυμένος άνθρακας διακυμαίνεται από 80 έως 100 ppm, στις καλύτερες περιπτώσεις τελικά θα παραμείνει στο καθαρισμένο κράμα του μεταλλουργικού πυριτίου.

2.1.2. ΜΟΝΟΣΙΛΑΝΙΟ (MONOSILANE (SiH₄))

Το μονοσιλάνιο Monosilane (SiH₄) είναι βασικό στη χημική ένωση για την παραγωγή του άμορφου πυριτίου και ο καθαρισμός του πυριτίου προς ημιαγώγιμες . Τα πτητικά σιλάνια όπως monosilane και χλωροσιλάνια είναι εξαιρετικά δραστικά με την παρουσία οξυγόνου, νερού ή υγρασίας.

Επίσης, έχει ταξινομηθεί ως επικίνδυνη χημική ουσία, της οποίας η διαχείριση απαιτεί ιδιαίτερη φροντίδα .

Τα κορεσμένα μακράς αλύσου σιλάνια , πολυσιλοξάνια καθώς και το άμορφο διοξείδιο του πυριτίου είναι γνωστό ότι είναι χημικά αδρανές και μη τοξικό, έτσι χρησιμοποιείται ευρέως στη φαρμακευτική,στη βιομηχανία τροφίμων και τα καλλυντικά.

Η παραγωγή μεταλλουργικού πυριτίου και ηλεκτρονικών ποιότητας πυριτίου έχει περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατανάλωση ενέργειας, που συνδέεται με τις κλιματικές και κυρίως τα ρυπογόνα αέρια CO₂ , NO_x και SO₂ . Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι οι αντίστοιχες οχλήσεις και με την κατανάλωση ενέργειας που δραστηριοποιούνται στην κατασκευή και την εγκατάσταση, τα φωτοβολταϊκά συστήματα " επιστρέφουν " από το ίδιο σύστημα, με τη μορφή των μηδενικών εκπομπών ρύπων " πράσινο " ηλεκτρική ενέργεια, μόνο μετά από περίπου τέσσερα έως πέντε χρόνια κατά μέσο όρο ύπαρξης περισσότερα από 25 χρόνια .

2.1.3.ΣΙΛΑΝΙΟ (SILANE)

Το Monosilane (SiH₄) είναι η πηγή του πυριτίου που απαιτείται για την εναπόθεση του πυριτίου άμορφο thin film σε εκκένωσης αίγλης ή χαμηλή θερμοκρασία του πλάσματος.

Το Σιλανίο παράγεται από τις Union Carbide και Ethyl Corporation διαδικασίες, οι οποίες περιγράφονται στην συνέχεια του κεφάλαιου . Η συνολική ετήσια δυναμικότητα παραγωγής είναι περίπου 7000 MT συμπεριλαμβανομένων μικρές ποσότητες που παράγονται στην Ιαπωνία .

Το Σιλανίου είναι διαθέσιμο σε ποσότητες με καθαρότητα που υπερβαίνει την ανάγκη της αγοράς φωτοβολταϊκών .

Η διαδικασία παραγωγής σιλανίου, όπως εφαρμόζεται στη βιομηχανία για πάνω από 30 χρόνια, χρονολογείται σε ένα εναλλακτικό πρόγραμμα ανάπτυξης της ενέργειας που χρηματοδοτείται από τη NASA .

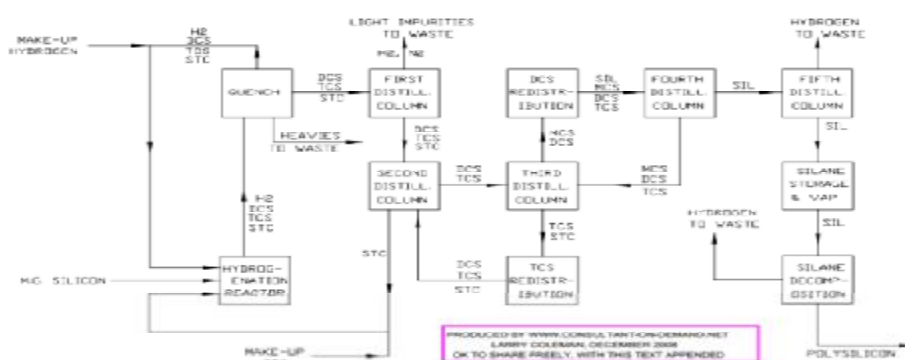
Είναι αλήθεια ότι η παλαιότερη διαδικασία παραγωγής TCS , στο εμπόριο από την Linde . Η Διαίρεση της Union Carbide στα τέλη της δεκαετίας του 1950, θα κάνει ένα προϊόν που μπορεί να αποσυντεθεί στο πολυπυριτίου . Η καθαρότητα του προϊόντος αυτού είναι κατάλληλο για το ηλιακό πυριτίου, γνωστό και ως φωτοβολταϊκό πυριτίο. Η διεργασία σιλανίου βελτιώνει την διαδικασία TCS, με αποτέλεσμα την παραγωγή προϊόντος με υψηλότερη καθαρότητα και χαμηλότερο κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας. Έτσι ώστε το προϊόν θα είναι κατάλληλο τόσο για ηλιακή και ηλεκτρονική χρήση .

Παραγωγή Σιλανίου (Silane)

Το μεταλλουργικό (MG) πυρίτιο αντιδρά με υδρογόνο και STC σε αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης, για να σχηματίσουν TCS στους 550° C. Τα θερμά αέρια

σβήστηκαν και το DCS/TCS/STC συμπύκνωμα διαχωρίζεται από τα αέρια υδρογόνου. Το υδρογόνο ανακυκλώνεται πίσω στον αντιδραστήρα υδρογόνωσης . Στα συμπυκνωμένα χλωροσιλάνια πρώτα απογυμνώνονται τα μη συμπυκνωμένα άζωτα και υδρογόνα, τότε το DCS/TCS αποστάζεται από το STC. Το STC ανακυκλώνεται πίσω στην υδρογόνωση . Το DCS/TCS ρεύμα αποστάζεται, με το άριστο προϊόν να αναδιανέμεται σε ένα πλούσιο μίγμα σιλανίου, και το προϊόν στον πυθμένα αναδιανέμεται σε ένα πλούσιο μίγμα DCS (και ανακυκλώνεται πίσω στη δεύτερη στήλη).

Στην τέταρτη στήλη το σιλάνιο διαχωρίζεται από όλες τις άλλες ενώσεις , οι πυθμένες προϊόν που ανακυκλώνεται πίσω στην τρίτη στήλη. Το σιλανίου προϊόν κορυφές αποστάζεται φορά περισσότερο , για να αφαιρέσετε οποιαδήποτε ίχνη υδρογόνου , στη συνέχεια αποστέλλονται στην αποθήκευση και ανάλυση στοιχείων . επάνω σε εξακρίβωση της ποιότητας, που εξατμίζεται και αποσυντίθεται για να κάνει υψηλή πολυπυριτίου καθαρότητας.



σχήμα παραγωγής σιλανίου

2.2.ΑΠΟ ΠΥΡΙΤΙΟ ΣΕ ΠΟΛΥΠΥΡΙΤΙΟ- ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΜΙΑΓΩΓΩΝ ΠΥΡΙΤΙΟΥ (ΠΟΛΥΠΥΡΙΤΙΟΥ)

Η υπερ-υψηλής καθαρότητας πυριτίου είναι απαραίτητη για να εξασφαλιστούν απαιτητικές ιδιότητες ημιαγωγών στην κατασκευή κρυστάλλων πυριτίου. Αυτό επιτυγχάνεται πρώτα με την παρασκευή ενός πτητικού υδριδίου πυριτίου και τον καθαρισμό του, χρησιμοποιώντας γενικά κλασματική απόσταξη. Στη συνέχεια ακολουθεί η αποσύνθεση αυτού του υδριδίου για υπερ-καθαρισμό καθαρού πυριτίου στοιχειακή με αναγωγική πυρόλυση ή χημική εναπόθεση ατμών. Η παρασκευή της ένωσης του πτητικού Si περιλαμβάνει εξωτερικές αντιδράσεις και αποσύνθεση του παράγει υποπροϊόντα, τα οποία πρέπει να ανακυκλωθούν. Οι διάφορες διαδρομές πολυπυριτίου ως εκ τούτου πρέπει να ελέγχουν τέσσερις διαδοχικές φάσεις:

1. παρασκευάσμα / σύνθεση του πτητικού υδριδίου του πυριτίου
2. κάθαρση
3. αποσύνθεση σε στοιχειακό πυρίτιο
4. ανακύκλωση των υποπροϊόντων

2.2.1. Διαδικασίες Παραγωγής Πολυπυριτίου

Πολλές διαδικασίες για την παραγωγή πολυπυριτίου έχουν δοκιμαστεί, με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας και μερικές λειτουργούν για πολλά χρόνια. Μόνο τρεις μεγάλες εμπορικές διαδικασίες είναι ενεργές:

1. Η πιο δημοφιλής μέθοδος βασίζεται στη θερμική αποσύνθεση του τριχλωροσιλάνιο στους 1100°C, ένας θερμαινόμενος ράβδος πυριτίου τοποθετείται μέσα σε ένα θάλαμο εναπόθεσης. Η διαδικασία αυτή, η οποία αναπτύχθηκε στα τέλη της δεκαετίας του πενήντα, και συνήθως αναφέρεται ως η διαδικασία της Siemens με αναφορά στην εταιρεία που διεξάγει την πρόωρη ανάπτυξη της. $2\text{SiHCl}_3 = \text{SiCl}_4 + \text{Si} + 2\text{HCl}$

Ακόμα η διαδικασία αυτή εξακολουθεί να αντιπροσωπεύει τουλάχιστον το 60% της παγκόσμιας παραγωγής πολυπυριτίου.

2. Σε μια πιο πρόσφατη διαδικασία που αναπτύχθηκε από την Union Carbide Chemicals στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, το τριχλωροσιλάνιο έχει αντικατασταθεί από monosilane SiH_4 , αλλά η αρχή της αποσύνθεσης σε μια θερμαινόμενη ράβδο πυριτίου μέσα σε ένα κλειστό θάλαμο εναπόθεσης διατηρείται. $\text{SiH}_4 = \text{Si} + 2\text{H}_2$

Η διαδικασία αυτή, που τώρα διαχειρίζεται από την εταιρεία Advanced Materials Silicon, LLC. έχει αποκτήσει κατά τα τελευταία 15 χρόνια μια σημαντική αποδοχή από την αγορά.

3. Τέλος, στην τρίτη μέθοδο, κάνουν επίσης χρήση της monosilane SiH_4 , η θερμαινόμενη ράβδος πυριτίου στο κλειστό θάλαμο αντιδράσεως έχει αντικατασταθεί από μια θερμαινόμενη ρευστοποιημένη κλίνη που περιέχει σωματίδια πυριτίου. Τα σωματίδια δρουν ως σπόροι για την οποία SiH_4 συνεχώς αποσυντίθεται σε μεγαλύτερους κόκκους υπερ-καθαρού πυριτίου. Σε αντίθεση με (1) και (2) αυτή η διαδικασία είναι μια συνεχής ένα.

Αυτή η διαδικασία είναι γνωστή ως διαδικασία την Ethyl Corporation, μετά το όνομα της χημικής εταιρείας των ΗΠΑ που αναπτύχθηκε. Η διαδικασία αυτή προς το παρόν διοικείται από την αμερικανική εταιρεία MEMC στην Πασαντένα, Τέξας.

2.2.1.1. Η Διαδικασία Της Siemens

Το τριχλωροσιλάνιο HSiCl_3 παρασκευάζεται με υδροχλωρίωση της μεταλλουργικής ποιότητας πυριτίου σε ένα αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης: $\text{Si (s)} + 3\text{HCl} = \text{HSiCl}_3 + \text{H}_2$. Αυτή η αντίδραση λαμβάνει χώρα στους 350 °C, κατά κανόνα χωρίς καταλύτη.

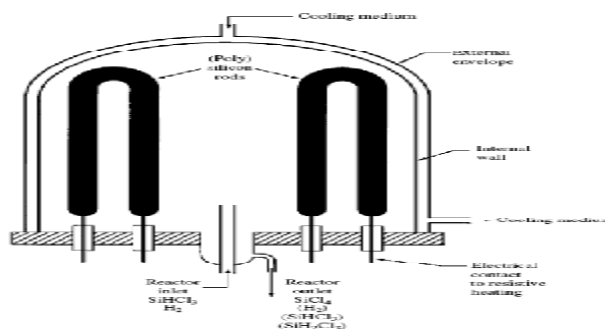
Μια ανταγωνιστική αντίδραση $\text{Si (s)} + 4\text{HCl} = \text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2$ συμβάλλουν στο σχηματισμό των ακατάλληλων τετραχλωροσιλάνιο σε γραμμομοριακή αναλογία 10 έως 20%.

Το τριχλωροσιλάνιο επιλέγεται λόγω του υψηλού ρυθμού εναπόθεσης του, χαμηλού σημείου ζέσεως του (31,8 °C) και συγκριτικά υψηλή πτητικότητα του και συνεπώς η ευκολία καθαρισμού σε σχέση με βόριο και φώσφορο κάτω στο επίπεδο ppb.

Το κατάλληλο τριχλωροσιλάνιο υφίσταται έναν διπλό καθαρισμό μέσω κλασματικής απόσταξης, το πρώτο βήμα για την αφαίρεση των βαρύτερων συστατικών που προέρχονται από την άμεση σύνθεση και το δεύτερο στάδιο εξαλείφει τα συστατικά ελαφρύτερα από το τριχλωροσιλάνιο, που ονομάζονται επίσης πτητικά. Η υψηλής καθαρότητας SiHCl_3 στη συνέχεια εξατμίζεται, αραιώνεται με υδρογόνο υψηλής καθαρότητας και εισάγεται σε αντιδραστήρες εναπόθεσης. Το αέριο αποσυντίθεται μέσα στην επιφάνεια των θερμαινόμενων σπόρων ράβδων

πυριτίου, που ηλεκτρικά θερμαίνεται στους περίπου 1100°C, και αναπτύσσονται μεγάλοι ράβδοι υπερ-καθαρού πυριτίου.

Το ρεύμα της αντιδράσεως υποπροϊόντων, το οποίο εγκαταλείπει τον αντιδραστήρα, περιέχει H₂, HCl, SiHCl₃, SiCl₄ και SiH₂Cl₂.



σχηματική αναπαράσταση της παραδοσιακής αντιδραστήρα siemens

Η διαδικασία Siemens καταναλώνει ενέργεια, ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας διασκορπίζεται και χάνεται. Για να αποφευχθεί η εναπόθεση επί των εσωτερικών επιφανειών του θαλάμου αντιδράσεως, αυτές πρέπει να ψύχονται. Ο θάλαμος διάσπασης αποτελείται από έναν κώδωνα από χάλυβα, όπου 30 ή περισσότερες ανεστραμμένες U-ράβδοι τοποθετούνται σε κάθε αντιδραστήρα.

Η διαδικασία εναπόθεσης παράγει υποπροϊόντα. Δυστυχώς, για κάθε γραμμομόριο Si που μετατρέπεται σε πολυπυρίτιο, 3 έως 4 γραμμομόρια μετατρέπονται σε SiCl₄, δεσμευτικές μεγάλες ποσότητες χλωρίου και πολύτιμο πυρίτιο.

Επομένως άρχισαν να ανακυκλώνουν το τετραχλωροσιλάνιο. Αυτό έγινε μια περιβαλλοντική και οικονομική αναγκαιότητα. Υπάρχουν δύο βασικές χημικές διαδικασίες που εφαρμόζονται να μεταστραφούν SiCl₄ σε SiHCl₃:

1. Η υψηλή μείωση της θερμοκρασίας του τετραχλωριούχου πυριτίου με υδρογόνο: $\text{SiCl}_4 + \text{H}_2 = \text{SiHCl}_3 + \text{HO}$. Στους περίπου 1000 °C, ένα 1:1 μοριακό μίγμα SiCl₄ και H₂ παράγει περίπου 20 έως 25% γραμμομοριακή SiHCl₃ στο αέριο μίγμα. Αυτή η διαδικασία απαιτεί ένα δίκαιο ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά έχει ένα ξεχωριστό πλεονέκτημα ότι το τριχλωροσιλάνιο που παράγεται είναι πολύ υψηλής ποιότητας, επειδή και τα δύο αντιδράσεις, τετραχλωριούχο πυρίτιο και υδρογόνο, είναι βασικά ηλεκτρονικά τάξη όταν παράγονται από τις εξισώσεις.

2. Η υδρογόνωση του τετραχλωριούχου πυριτίου σε μια μάζα κλίνης μεταλλουργικής πυριτίου: $3\text{SiCl}_4 + 2\text{H}_2 + \text{Si} = 4\text{SiHCl}_3$. Αυτή η αντίδραση υδρογόνωσης παράγει περίπου 20% τριχλωροσιλάνιο στους 500 °C και 35 bar με αναλογία 1:1 του SiCl₄ με H₂ σε ένα πέρασμα μέσω μεταλλουργικής ποιότητας πυριτίου σε ένα αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης.

Παρά την ευρέως διαδεδομένη και η δεσπόζουσα θέση της στον κλάδο, η διαδικασία της Siemens, όπως περιγράφεται ανωτέρω πάσχει από τα ακόλουθα μειονεκτήματα:

- Υψηλή κατανάλωση ενέργειας, πάνω από το 90% της ισχύος εισόδου χάνεται στα κρύα τοιχώματα του αντιδραστήρα.
- Δύο τροφοδοτικά και προθέρμανση των ράβδων σπόρων συνήθως απαιτείται λόγω της υψηλής αντίστασης (~ 230 000 ohm cm) ράβδους σπόρων απαιτούν πολύ υψηλά τροφοδοτικά και υψηλές αρχικές τιμές ενέργειας για τη θέρμανση των ράβδων. Ως εκ τούτου, μια ξεχωριστή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για λαμπτήρες χαλαζία ή

γραφίτη θέρμανσης επαγωγής ράβδος χρησιμοποιείται για την προθέρμανση ράβδους σπόρων σε περίπου 400 °C (~ 0,1 εκατοστά ohm). Χαμηλότερη ισχύ ηλεκτρικές παροχές μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν συνεχή θέρμανση και τον έλεγχο.

- Οι ηλεκτρικές επαφές σε ράβδους σπόρων κατασκευασμένα από γραφίτη, είναι μια πηγή μόλυνσης.
- Διακοπή ρεύματος (ειδικά κατά την έναρξη της διαδικασίας) προκαλεί αποτυχία της διαδικασίας.
- Ροές αερίου και ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να προσαρμόζονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας για να επιτύχουμε το βέλτιστο ρυθμό εναπόθεσης.
- Η μέθοδος λειτουργεί κατά παρτίδες.

Μεγάλη ποσότητα των υποπροϊόντων θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ή να ανακυκλωθούν. Πιο πρόσφατες διαδικασίες έχουν επιχειρήσει να ξεπεραστούν μερικά από αυτά τα μειονεκτήματα.

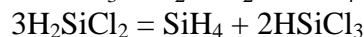
2.2.1.2. Η Union Carbide Διαδικασία

Τα κύρια βήματα για τη διαδικασία Union Carbide έχουν ως εξής:

Η υδρογόνωση της τετραχλωροσιλάνιο μέσω μιας μάζας κλίνης μεταλλικού πυριτίου διεξάγεται σε ένα αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης.

Το τριχλωροσιλάνιο διαχωρίζεται με απόσταξη, ενώ το τετραχλωροσιλάνιο που δεν αντέδρασε ανακυκλώνεται πίσω στον αντιδραστήρα υδρογόνωσης.

Το καθαρισμένο τριχλωροσιλάνιο στη συνέχεια κατεργάζεται σε δύο ξεχωριστά στάδια μέσω μιας σταθερής στήλης κλίνης γεμάτη με τεταρτοταγούς αμμωνίου ρητίνες ανταλλαγής ιόντων που ενεργούν ως καταλύτης.



Τα προϊόντα που παράγει διαχωρίζεται με απόσταξη. Το τετραχλωροσιλάνιο και το τριχλωροσιλάνιο ανακυκλώνονται στην υδρογόνωση του αντιδραστήρα και το πρώτο στάδιο, αντιστοίχως. Το Σιλανίου καθαρίζεται περαιτέρω με απόσταξη και κατόπιν πυρολύεται για να παραχθεί πολυπυριτίο επάνω σε έναν θερμαινόμενο σπόρο πυριτίου ράβδου, ο οποίος τοποθετείται σε ένα μεταλλικό κωδωνόμορφου (bell-jar) αντιδραστήρα: $\text{SiH}_4 = 2\text{H}_2 + \text{Si}$

Με υδρογόνο και χλώριο ανακυκλώνονται, η μοναδική απαίτηση της πρώτης ύλης είναι το μεταλλουργικό πυρίτιο να είναι σε κοκκώδη μορφή με σκοπό την ρευστοποίηση. Από τις αντιδράσεις αποδίδονται χαμηλά κλάσματα των κατάλληλων προϊόντων, και τα ενδιάμεσα τριχλωροσιλάνιο και τετραχλωροσιλάνιο αποστάζονται, ανακυκλώνονται και καθαρίζονται πολλές φορές πριν από τη μετατροπή τους σε σιλάνιο. Αυτό οδηγεί σε μια εξαιρετικά υψηλής καθαρότητας σιλάνιο και ακολούθως υψηλής καθαρότητας πολυπυριτίο.

Πλεονεκτήματα της χρήσης SiH_4 είναι ότι η πυρόλυση μπορεί να λειτουργεί σε σημαντικά χαμηλότερη θερμοκρασία, η αποσύνθεση είναι πλήρης, η απόδοση μετατροπής είναι υψηλότερη και δεν σχηματίζει καμία διαβρωτική ένωση. Με αυτόν τον τρόπο παράγονται ομοιόμορφοι, μεγάλης διαμέτρου, μακρύ, πυκνοί, άνευ κενών κυλινδρικές ράβδοι πολυπυριτίου που είναι ιδιαίτερα κατάλληλες για την παρασκευή ενιαίων κρύσταλλων από την διαδικασία Float Zone (FZ).

Το μειονέκτημα της διαδικασίας CARBIDE είναι το υψηλό κόστος, επειδή απαιτούνται πρόσθετα βήματα για τη μετατροπή τριχλωροσιλάνιου σε μονοσιλάνιου. Κάθε ανακύκλωση των ακατάλληλων χλωροσιλανίων αποδίδει μόνο ένα μικρό ποσοστό του κατάλληλου σιλανίου.

2.2.1.3. Η Ethyl Corporation Διαδικασία

Η διαδικασία της Ethyl Corporation, σε σύγκριση με την Siemens και η Union Carbide διεργασίες, είναι επαναστατική σε όλες τις πτυχές εκτός από την έννοια του καθαρισμού και της αποσύνθεσης μιας πτητικής ένωσης πυριτίου με πυρόλυση.

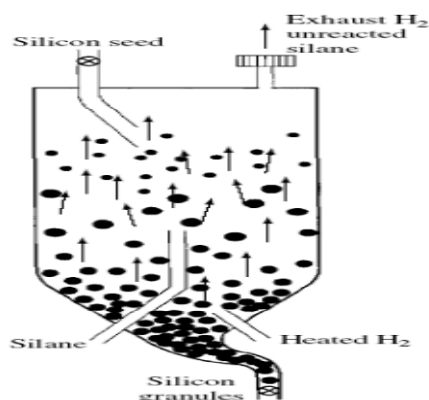
Η πρώτη ριζική αλλαγή ήταν η επιλογή να μην χρησιμοποιούν μεταλλουργικής ποιότητας πυριτίου ως βασική πρώτη ύλη για σιλάνιο. Η ιδέα ήταν να κάνουν χρήση του φθορίου πυριτίου, το οποίο είναι μια σπατάλη υποπροϊόν της τεράστια βιομηχανία λιπασμάτων. Δεκάδες χιλιάδες τόνοι φθορίου πυριτίου κάθε χρόνο είναι διαθέσιμες. Αυτό είναι δυναμικά ένα πολύ χαμηλού κόστους υλικό έναρξης. Το φθοριούχο πυρίτιο υδρογονώνεται σε μονοσιλάνιο από υδρίδια μετάλλων όπως υδρίδιο λιθίου, αργιλίου ή υδρίδιο του νατρίου αργιλίου.

$2\text{H}_2 + \text{M} + \text{Al} = \text{AlMH}_4$, όπου M είναι Na ή Li

$\text{SiF}_4 + \text{AlMH}_4 = \text{SiH}_4 + \text{AlMF}_4$

Το AlMF_4 πιστεύεται ότι βρίσκει εφαρμογή στη βιομηχανία αλουμινίου, καθιστώντας το ένα πολύτιμο εμπορεύσιμο προϊόν.

Μετά την απόσταξη, monosilane SiH_4 αποσυντίθεται θερμικά σε πολυπυριτίο. Ωστόσο, για την υλοποίηση αυτής της διαδικασίας, η Ethyl Corporation εισήγαγε μια δεύτερη ριζική αλλαγή, που δεν χρησιμοποιούν στατικούς σπόρους ράβδων πυριτίου σε ένα κωδωνόμορφο (bell-jar) αντιδραστήρα, αλλά δυναμικές σφαίρες σπόρων πυριτίου σε ρευστοποιημένη κλίνη που υπέστη ένα ρεύμα αερίου σιλανίου και υδρογόνου. Μια σχηματική αναπαράσταση ενός αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης για την παραγωγή πολυπυριτίου



σχηματική αναπαράσταση ενός αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης για την παραγωγή πολυπυριτίου

Ο αντιδραστήρας ρευστοποιημένης κλίνης προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τον κωδωνόμορφο (bell-jar) αντιδραστήρα. Οι περισσότερες από τις ελλείψεις που εντοπίζονται για τη διαδικασία της Siemens στη συνέχεια αποβάλλονται. Οι απώλειες ενέργειας και ως εκ τούτου, η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται σημαντικά, διότι η αποσύνθεση λαμβάνει χώρα σε χαμηλότερη θερμοκρασία και δεν χρειάζεται η ψύξη του κώδωνα. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι

ότι οι μεγάλοι αντιδραστήρες μπορούν να κατασκευάζονται και να λειτουργούν συνεχώς, μειώνοντας περαιτέρω το κόστος κεφαλαίου και λειτουργίας.

Τα τελικά προϊόντα είναι μικροί κόκκοι πολυπυριτίου που μπορεί να παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα (π.χ. δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την άμεση κρυστάλλωση ζώνη float).

Ένα μειονέκτημα της μεθόδου είναι η παραγωγή της σκόνης λόγω της ομοιογενούς αποσύνθεσης SiH_4 στον ελεύθερο χώρο του αντιδραστήρα και της απορρόφησης του υδρογόνου μέσα στο στρώμα εναπόθεσης πολυπυριτίου.

2.3. ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΟΣ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ PV PANEL

2.3.1. Μετατροπή Από Πολυπυρίτιο Σε Ράβδους Πυριτίου Με Διαφορές Μεθόδους

2.3.1.1.Κρυσταλλικό Πυρίτιο

Το κρυσταλλικό πυρίτιο εξακολουθεί να είναι ο στυλοβάτης των περισσότερων φωτοβολταϊκών μονάδων . Αν και σε ορισμένες τεχνικές παράμετροι δεν είναι το ιδανικό υλικό για τα ηλιακά κύτταρα και έχει το πλεονέκτημα να είναι ευρέως διαθέσιμο.

Οι γκοφρέτες , πολύ λεπτές φέτες πυριτίου , είναι η βάση για κρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα. Λεπτότερες γκοφρέτες σημαίνει λιγότερο πυρίτιο που απαιτούνται για κάθε ηλιακών κυττάρων και επομένως χαμηλότερο κόστος .

Το κρυσταλλικό πυρίτιο χωρίζεται σε μονοκρυσταλλικό και πολυκρυσταλλικό πυρίτιο, τα οποία αναφέρουμε στη συνέχεια.

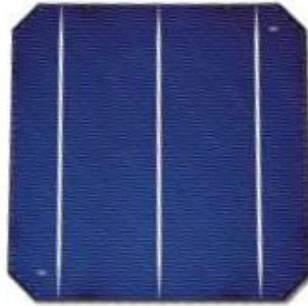
Όσον αφορά τη παραγωγική του διαδικασία, προέρχεται από τη διαδικασία Siemens. Πρέπει να τονιστεί ότι η διαδικασία είναι εξαιρετικά ενεργοβόρες και συντελούν στο υψηλό κόστος κατασκευής των φωτοβολταϊκών στοιχείων.

2.3.1.2.Μονοκρυσταλλικό Πυρίτιο

Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο έχει μια ομοιόμορφη μοριακή δομή. Συγκρινόμενο με υλικά που δεν είναι σε μορφή κρυστάλλου, η υψηλή του ομοιομορφία έχει ως αποτέλεσμα τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης (δηλαδή την αναλογία της ηλεκτρικής ισχύος που παράγεται από το ηλιακό στοιχείο προς την διαθέσιμη από την ηλιακή ακτινοβολία ισχύ).

Η απόδοση των μονοκρυσταλλικών στοιχείων του εμπορίου κυμαίνεται από 14-18%. Τα μονοκρυσταλλικά κύτταρα γενικά επιτρέπουν να αποκτήσετε αποτελεσματικότερες τιμές, ελαφρώς υψηλότερες από τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα.

Ωστόσο, έχουν οκταγωνικό σχήμα (τετράγωνο με στρογγυλεμένες γωνίες), το οποίο σχήμα του το κύτταρο δεν επιτρέπει την εκμετάλλευση ολόκληρης της περιοχής της φωτοβολταϊκής μονάδας .



εικόνα μονοκρυσταλλικής κυψέλης

Οι μέθοδοι Czochranski και Float Zone είναι οι κύριες διαδικασίες παραγωγής ράβδων μονοκρυσταλλικού πυριτίου.

2.3.1.2.1. Μέθοδος Czochranski

Ακολουθεί η κρυσταλλική ανάπτυξη του πυριτίου συνήθως με την μέθοδο Czochranski. Τα βήματα της τεχνικής Czochranski είναι τα ακόλουθα :

Η μαγεία ξεκινά με περίπου 250 κιλά βράχων πολυπυριτίου, τα οποία στοιβάζονται προσεκτικά σε ένα χωνευτήρι από χαλαζία. Το μόνο άλλο συστατικό που χρησιμοποιείται είναι ένας δίσκος πυριτίου, εμποτισμένος με ένα μικρό ποσό του βορίου. Η προσθήκη του ενισχυτικού Oron εξασφαλίζει ότι ο κρύσταλλος που θα προκύψει θα φέρει ένα θετικό δυναμικό ηλεκτρικό προσανατολισμό. Το χωνευτήρι είναι εγκλωβισμένο μέσα σε παχιά τοιχώματα από μονωτικό γραφίτη και κλειδωμένο μέσα σε ένα κυλινδρικό κλίβανο. (βλ. εικόνα 1)

Εκκενώνεται ο θάλαμος ανάπτυξης από τα υπάρχοντα αέρια. Στο θάλαμο ανάπτυξης διοχετεύεται αδρανές αέριο για να αποτραπεί η είσοδος ατμοσφαιρικών αερίων στο τήγμα κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης.



εικόνα 1

εικόνα 2

Δεδομένου ότι ο αναπτυσσόμενος κρύσταλλος θερμαίνεται σε φούρνο σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται περίπου 2.500 βαθμούς Fahrenheit, το περιεχόμενο του πυριτίου λιώνει σε ένα πολτό. Με το που εγγραφεί ηλεκτρονικά στο μόνιτορ η σωστή θερμοκρασία και οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, η αλχημεία ξεκινά. Ένας πυρήνας (seed) κρυσταλλικού πυριτίου, κρέμεται από ένα στενό καλώδιο, το οποίο είναι συνδεδεμένο με μια περιστροφική συσκευή στην κορυφή του κλιβάνου ,και κατεβαίνει αργά μέσα στο λιωμένο τήγμα .(βλ. εικόνα 2)

Το χωνευτήρι αρχίζει να γυρίζει, και ο κρυσταλλικός πυρήνας αρχίζει να περιστρέφεται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Το λιωμένο πυρίτιο στη συνέχεια

παγώνει επί του κρυσταλλικού πυρήνα, και έτσι ενώνεται με την κρυσταλλική δομή του πυρήνα. Ο κρύσταλλος αναπτύσσεται, το καλώδιο και ο πυρήνας ανεβαίνουν αργά, έτσι με αυτό τον τρόπο ο κρύσταλλος επιμηκύνεται σε ένα ελεγχόμενο πλάτος. Το χωνευτήρι αυξάνεται επίσης, καθώς η ανάπτυξη του κρυστάλλου εξαντλεί τον πολτό του πυριτίου. (βλ εικόνα 3)



εικόνα 3



εικόνα 4

Περίπου 2,5 μέρες χρειάστηκε το χωνευτήρι να γεμίσει με πολυπυρίτιο. Μετά από ώρες θα ψυχθεί σε θερμοκρασία περίπου 300 βαθμών Fahrenheit. Στη συνέχεια το καπάκι του φούρνου και ο άξονας από το περίβλημα του χωνευτηρίου, θα ταλαντεύονται αργά προς τη μία πλευρά, έτσι ώστε να αποκαλυφθεί ένας ολοκληρωμένος κυλινδρικός κρύσταλλος, έτοιμος να κινηθεί στο δεύτερο βήμα παραγωγής. (βλ. εικόνα 4)

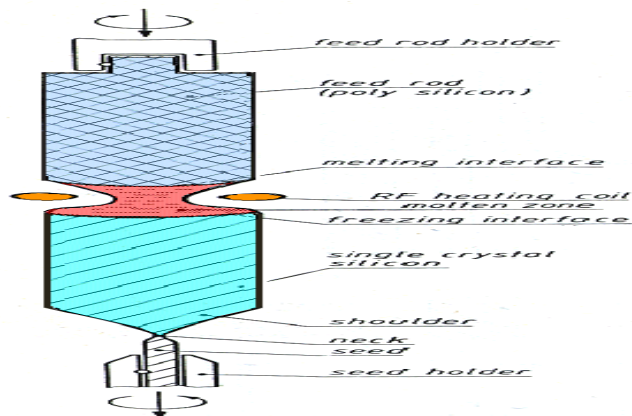
2.3.1.2.2. Μέθοδος Float Zone (FZ)

Άλλη μέθοδος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι η μέθοδος FZ (Float Zone), αμφότερες πάντως βασίζονται στην ανάπτυξη ράβδου πυριτίου. Τα βήματα της τεχνικής FZ είναι τα ακόλουθα:

1. Μια ράβδος από πολυκρυσταλλικό πυρίτιο τοποθετείται κατακόρυφα εντός ειδικού θαλάμου ο οποίος βρίσκεται υπό κενό ή είναι γεμισμένος με αδρανές αέριο.
2. Ένα πηνίο το οποίο μπορεί να κινείται κατά μήκος του άξονα της ράβδου πολυπυριτίου τροφοδοτείται με ηλεκτρομαγνητική ενέργεια και δημιουργεί μια λιωμένη ζώνη εύρους 2 cm στη ράβδο. Η λιωμένη περιοχή διατηρείται με τη βοήθεια του πηνίου σε σταθερή υγρή μορφή.
3. Στη συνέχεια, το πηνίο κινείται κατά μήκος του άξονα της ράβδου οπότε και μετακινείται μαζί με αυτό και η λιωμένη περιοχή.
4. Η κίνηση της λιωμένης ζώνης σε όλο το μήκος της ράβδου "καθαρίζει" τη ράβδο και σχηματίζει έναν σχεδόν τέλειο μονοκρύσταλλο.

Εναλλακτικά, η τεχνική FZ μπορεί να υλοποιηθεί με στατικό πηνίο και κινούμενη ράβδο πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

Float-zone pulling



κρυσταλλική ανάπτυξη πυριτίου με την μέθοδο Float Zone

Έπειτα ένα πολύ μικρό κομμάτι κρυσταλλικού πυριτίου τοποθετείται σε επαφή με την επιφάνεια του λιωμένου πυριτίου, ενώ το κυλινδρικό δοχείο βρίσκεται σε περιστροφική κίνηση. Το κομμάτι πυριτίου δρα σαν πυρήνας κρυστάλλωσης και έτσι το πυρίτιο επικάθεται σε αυτό με αποτέλεσμα να μεγαλώσει και να σχηματισθεί σταδιακά ένας νέος μεγάλος κρύσταλλος πυριτίου με την συνεχή ανύψωση από το λιωμένο πυρίτιο. Αποτέλεσμα της μεθόδου είναι το πυρίτιο να αποκτήσει μια κυλινδρική μορφή με διάμετρο περίπου 10cm και μήκους 1m.

Τα μονοκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της καλύτερης σχέσης απόδοσης/επιφάνειας ή "ενεργειακής πυκνότητας", μειονεκτούν όμως στο υψηλό κόστος κατασκευής σε σχέση με τα πολυκρυσταλλικά. Το μεγαλύτερο μέρος του υψηλού κόστους οφείλεται στην παραγωγή καθαρού πυριτίου σε κρυσταλλική δομή (είτε με μέθοδο Czochranski είτε με μέθοδο Float Zone).

2.3.1.3. Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο

Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο αποτελείται από περιοχές μονοκρυσταλλικού πυριτίου, οι οποίες μπορούν να παρατηρηθούν και οπτικά αλλά δεν έχει την ομοιόμορφη κρυσταλλική δομή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου, έτσι χαρακτηρίζεται από μια διαταραγμένη δομή κρυστάλλου, αλλά επιτρέπει μια μεγαλύτερη χρήση του υλικού και την έκταση της ενότητας, παρέχοντας έτσι ένα καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα.

Τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν χαμηλότερο βαθμό απόδοσης από τα στοιχεία που αποτελούνται από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο και μάλιστα όσο μεγαλύτερες είναι σε έκταση οι μονοκρυσταλλικές περιοχές τόσο μεγαλύτερη είναι και η απόδοση για τα πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κελιά. Ο βαθμός απόδοσης για μια βαθμίδα εμπορίου κυμαίνεται μεταξύ 10 και 14%, σε εργαστηριακές εφαρμογές όμως έχουν επιτευχθεί αποδόσεις έως και 20%. Ο βαθμός απόδοσης τους είναι σαφώς μικρότερος από αυτόν των μονοκρυσταλλικών, όμως ακόμα και με πρόχειρη έρευνα αγοράς διαπιστώνεται ότι διατηρούν τον υψηλότερο λόγο απόδοσης προς ο κόστος αγοράς τους. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που οι πολυκρυσταλλικές γεννήτριες έχουν ένα ποσοστό της τάξης του 25% μεγαλύτερου μεριδίου αγοράς απ' ότι οι μονοκρυσταλλικές.

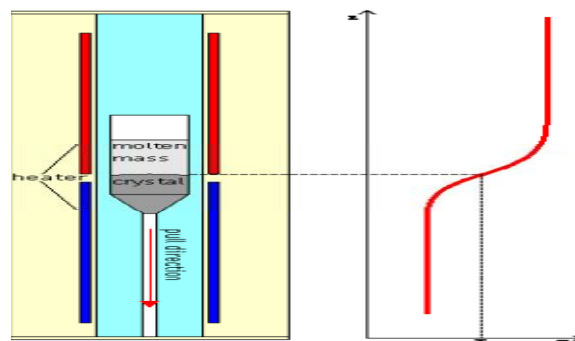


εικόνα πολυκρυσταλλικής κυψέλης

Οι Bridgman και μπλοκ-casting διεργασίες είναι οι κύριοι επαγγελματίες παραγωγής μεγάλων προσανατολισμένων κρυστάλλων από κατευθυντική στερεοποίηση. Και στις δύο διαδικασίες η στερεοποίηση της υψηλής ποιότητας ράβδους πολυκρυσταλλικού πυριτίου, με μάζα 250 έως 300 kg, διαστάσεις έως $70 \times 70 \text{ cm}^2$ και ύψος πάνω από 30 cm, έχουν υλοποιηθεί με επιτυχία.

2.3.1.3.1. Μέθοδος Bridgman

Η παραγωγική διαδικασία του πολυκρυσταλλικού πυριτίου διαφοροποιείται από την διαδικασία των μονοκρυσταλλικών στο γεγονός ότι αντί της μεθόδου Czochranski για την επίτευξη «τέλειας» κρυσταλλικής δομής, το υψηλής καθαρότητας πυρίτιο, απλά τήκεται και τοποθετείται σε ένα δοχείο με τετραγωνική βάση, όπου και αφήνεται να στερεοποιηθεί (μέθοδος Bridgman)



κρυσταλλική ανάπτυξη πολυκρυσταλλικού πυριτίου με την μέθοδο bridgman

Στη διαδικασία Bridgman χρησιμοποιείται μόνο ένα χωνευτήριο τόσο για την τήξη όσο και για την κρυστάλλωση.

Ένα νιτρίδιο πυριτίου (Si_3N_4)-υμένιου χαλαζία συνήθως χρησιμοποιείται για την τήξη του πυριτίου πρώτων υλών και την επακόλουθη στερεοποίηση του πολυκρυσταλλικού πλινθώματος. Το Si_3N_4 επίστρωση χρησιμεύει ως μία αντιπολιτική στιβάδα, η οποία εμποδίζει την προσκόλληση της ράβδους πυριτίου στα τοιχώματα του χαλαζία χωνευτήριο. Λόγω της διαστολής του όγκου κατά τη διάρκεια της κρυστάλλωσης του υλικού του πυριτίου, μια καταστροφή τόσο της ράβδους πυριτίου και του χωνευτηρίου θα λάβει χώρα.

Η κρυστάλλωση αρχίζει στο κάτω μέρος του χωνευτηρίου με τη μείωση της θερμοκρασίας κάτω από τη θερμοκρασία τήξεως του πυριτίου ($1410 \text{ }^\circ\text{C}$).

Στην διαδικασία Bridgman η μείωση της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με την απλή μείωση του υγρού πυριτίου που περιέχει το χωνευτήριο έξω από την καυτή ζώνη του κλιβάνου κρυστάλλωσης.

Μετά τη στερεοποίηση περιοχή του πυθμένα ξεκινά η κρυστάλλωση στο μπροστινό μέρος, που είναι το υγρό-στερεό μεσόφαση. Η στερεοποίηση της ράβδου κινείται σε μία κατακόρυφη διεύθυνση προς τα πάνω μέσω του χωνευτηρίου κρυστάλλωσης. Το αποτέλεσμα αυτής της κατευθυντικής στερεοποίησης οδηγεί σε ανάπτυξη κρυσταλλικών στηλών. Δίπλα γκοφρέτες κατασκευασμένα από τις ράβδους παρουσιάζουν σχεδόν ταυτόσημες δομές ελάττωμα (όρια των κόκκων και εξαρθρώσεις).

Κοινές ταχύτητες κρυστάλλωσης που χρησιμοποιούνται για την τεχνολογία Bridgman βρίσκονται σε ένα εύρος από περίπου 1 cm / h (που αντιστοιχεί σε μάζα περίπου 10 kg/h για μεγάλα πλινθώματα). Οι ρυθμοί ψύξης του ήδη κρυσταλλωμένου κλάσματος του πλινθώματος καθορίζει την παραγωγικότητα. Υπερβολικά υψηλά ποσοστά στερεοποίησης προκαλούν μεγάλες θερμικές κλίσεις εντός του στερεοποιημένου πυριτίου που μπορεί να οδηγήσει σε ρωγμές ή ακόμη και στη καταστροφή του πλινθώματος.

2.3.1.3.2. Μέθοδος Block Casting

Εναλλακτικά χρησιμοποιείται η μέθοδος block casting, όπου το πυρίτιο τήκεται σε ένα δοχείο και έπειτα μεταφέρεται σε ένα δεύτερο όπου και στερεοποιείται. Το στερεό πυρίτιο που δημιουργείται έχει πολυκρυσταλλική δομή.

Κατά τη διαδικασία χύτευσης, η τήξη πραγματοποιείται σε ένα χωνευτήρι από χαλαζία χωρίς επικάλυψη, ενώ (μετά το χύσιμο του τηγμένου πυριτίου σε μια δεύτερη χοάνη) για την κρυστάλλωση, χρησιμοποιείται ένα Si_3N_4 υμένιο.

Η κρυστάλλωση αρχίζει στο κάτω μέρος του χωνευτηρίου με τη μείωση της θερμοκρασίας κάτω από τη θερμοκρασία τήξεως του πυριτίου (1410 °C).

Κατά τη διαδικασία χύτευσης block casting ο έλεγχος της θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με προσαρμογή των θερμαντήρων, ενώ το χωνευτήριο από μόνο του δεν έχει μετακινηθεί κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης.

Με την τεχνολογία block casting, λόγω του πιο ευέλικτου και εξελιγμένου συστήματος θέρμανσης, μπορούν να επιτευχθούν σημαντικά υψηλότερα ποσοστά.

Ακολουθεί η κοπή με τον τρόπο που αναφέρθηκε παραπάνω και η διαδικασία ολοκληρώνεται με τον ίδιο τρόπο με το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο. Η διαδικασία παραγωγής πολυκρυσταλλικού πυριτίου είναι φθηνότερη από αυτή του μονοκρυσταλλικού. Επιπλέον οι τετραγωνικές πλάκες που προκύπτουν από την κοπή πλεονεκτούν στο γεγονός ότι μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή τετραγωνικών φωτοβολταϊκών στοιχείων σε αντίθεση με τους δίσκους που είναι κυκλικοί. Αυτό έχει σαν συνέπεια τον μεγαλύτερο δείκτη κάλυψης του φωτοβολταϊκού πλαισίου.

2.3.2. Μετατροπή Από Ράβδους Πυριτίου Σε Κύβος Πυριτίου Με Την Διαδικασία Wafering & Slicing

Τομή (Cutting)

Στην τομή αρχικά ένα πριόνι αποκόπτει την λεγόμενη κορυφή και την ουρά του κρυστάλλου πυριτίου, έτσι ώστε να παραμείνει ένας κρύσταλλος ομοιόμορφου πλάτους. Συνήθως, τα wafering πριόνια σύρουν ένα λεπτό σύρμα, που φέρει ένα λειαντικό υγρό, σε όλη την επιφάνεια του κρυστάλλου. (Παρακάτω, ένα μηχάνημα τοποθετείται σε μια γιγαντιαία donutlike ατσάλινη λεπίδα που κάνει την κοπή.) Τα

πριόνια Wire (σύρμα) μειώνουν επίσης τον κρύσταλλο σε πλινθώματα (ingots) μέτρησης 2 πόδια ή λιγότερο. Ο χάλυβας τοποθετείται στα άκρα των εν λόγω ράβδων για το επόμενο βήμα.



Από Ράβδους Σε Κύβους Πυριτίου Με Τετραγωνισμό (Squaring)

Οι ράβδοι στο τέλος τοποθετούνται σε ένα ράφι που χωράει 16 από αυτούς κάθε φορά και ύστερα εισέρχονται σε ένα άλλο wireslicing (τομή με σύρμα) μηχάνημα. Εκεί, ένα συρμάτινο πλέγμα κατεβαίνει στις ράβδους κόβοντας τα τέσσερα στρογγυλεμένα τμήματα, αφήνοντας τα έτσι με επίπεδες πλευρές. Το αποτέλεσμα τώρα είναι οι ράβδοι να έχουν μία τετραγωνική εγκάρσια τομή, εκτός βέβαια από της ακόμη στρογγυλεμένες γωνίες.



Κύβοι Πυριτίου

Οι κύβοι πυριτίου προέρχονται από την κοπή της κρυσταλλικής ράβδου με πριόνια, δίνοντάς της μία τετραγωνική μορφή, εξ και το όνομα της.

2.3.3. Μετατροπή Από Κύβους Πυριτίου Σε Ηλιακή Κυψέλη (Wafer) Με Την Διαδικασία Wafering & Slicing

Από Κύβους Πυριτίου Σε Κυψέλες Με Κοπή σε φέτες (Slicing)

Το επόμενο πριόνι του σύρματος είναι ακόμη πιο περίπλοκο. Ένα σύρμα τυλίγεται εκατοντάδες φορές μεταξύ δύο κυλινδρικών τυμπάνων σχηματίζοντας έτσι ένα πλέγμα παράλληλων, σφιχτών απεχόντων τμημάτων. Καθώς το σύρμα ξετυλίγεται από το μηχάνημα, στις πλαϊνές πλευρές των ράβδων τοποθετείται γυαλί και μεταλλικά στηρίγματα, πιέζονται και τα δύο ταυτόχρονα μέσω του συρμάτινου πλέγματος, τεμαχίζοντας έτσι τους ράβδους σε πολύ λεπτές φέτες, πάχους επαγγελματικής κάρτας. Κάθε χιλιοστό κρυστάλλου αποδίδει περίπου 21/2 γκοφρέτες. Τέλος οι γκοφρέτες φορτώνονται σε φορτηγά ή πλοία και μεταφέρονται σε άλλες εγκαταστάσεις για να δημιουργήσουν το φωτοβολταϊκό κύτταρο.



Κυψέλη Ή Γκοφρέτα (Wafer) Ενός Pn

Η ηλιακή κυψέλη είναι το βασικό δομικό στοιχείο ενός ηλιακών κυττάρων, αλλά μέχρι στιγμής τα μόνα αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά της είναι η κρυσταλλική δομή της και η θετική δυναμική προσανατολισμού. Για περισσότερες πληροφορίες δείτε το πρώτο κεφάλαιο.

2.3.4. Μετατροπή Από Ηλιακή Γκοφρέτα (Solar Wafer) Σε Φωτοβολταϊκό Κύτταρο (Solar Cell)

Χαλκογραφία (Etching)

Η χαλκογραφία είναι η μόνη φάση που απαιτεί ένα καθορισμένο καθαρό δωμάτιο, καθώς και μία σειρά περίπλοκων χημικών και θερμικών διεργασιών που μετατρέπουν τις κενές γκρι γκοφρέτες σε παραγωγικά μπλε κύτταρα. Για παράδειγμα, η λεγόμενη υφή etch (χαρακτική) αφαιρεί ένα μικρό στρώμα του πυριτίου, επικαλούμενη την υποκείμενη δομή του κρυστάλλου για να αποκαλύψει ένα ακανόνιστο σχήμα των πυραμίδων. Η επιφάνεια των πυραμίδων, είναι τόσο μικρή που είναι αόρατη με γυμνό, μάτι απορροφά περισσότερο φως.

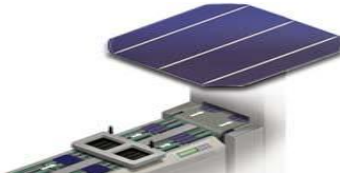


Διάχυση (Diffusing)

Στη συνέχεια, οι γκοφρέτες κινούνται σε φυσιγγία μέσα σε μακριούς, κυλινδρικούς θαλάμους, στους οποίους διαχέεται φώσφορος μέσα σε ένα λεπτό στρώμα στην επιφάνεια του ελάσματος. Σε μοριακό επίπεδο, ο εμποτισμός συμβαίνει καθώς η επιφάνεια του δισκίου εκτίθεται με αέριο φωσφόρου σε υψηλή θερμοκρασία, ένα βήμα που δίνει στην επιφάνεια έναν αρνητικό δυναμικό ηλεκτρικό προσανατολισμό. Ο συνδυασμός των εν λόγω στρωμάτων και της ντοπαρισμένης στιβάδας βορίου δημιουργεί μία θετική-αρνητική (P/N) επαφή, μια κρίσιμη τομή στη λειτουργία ενός κυττάρου ΦΒ.

Χρωματισμός και εκτύπωση (Coloring and Printing)

Τα ακόμα γκρι κύτταρα κινούνται σε δίσκους μέσα σε βαριούς θαλάμους κενού, όπου το μπλε-μωβ νιτρίδιο του πυριτίου κατατίθενται πάνω στις κορυφές τους. Η επικάλυψη με νιτρίδιο πυριτίου (ένα ακόμα μέλος της οικογένειας του πυριτίου των υλικών) έχει σχεδιαστεί για να μειώσει την αντανάκλαση ακόμη περισσότερο στο υψηλής ενεργειακής πυκνότητας μπλε άκρο του φωτεινού φάσματος. Αφήνει τα κύτταρα με το τελικό, σκούρο χρώμα τους. Τώρα, τα κύτταρα μπορούν να συγκεντρώσουν περισσότερα φωτόνια και να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Τους λείπει, ωστόσο, κάποιος μηχανισμός για τη συλλογή και διαβίβαση την ενέργειας. Έτσι, σε μια σειρά silkscreen, τα μέταλλα είναι τυπωμένα και στις δύο πλευρές του κυττάρου, προσθέτοντας ταινία πείρου "finger" και κύκλωμα bus-bar. Ένα λειτουργικό κύτταρο γεννιέται, και το μόνο που χρειάζεται πλέον είναι ηλιοφάνεια.



Φωτοβολταϊκό Κύτταρο (Solar Cell)

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα είναι φτιαγμένα από ειδικά υλικά, όπως το πυρίτιο (το πιο συνηθισμένο προς το παρόν) που λέγονται ημιαγωγοί. Όταν το φως πέσει στο κύτταρο, ένα μέρος του απορροφάται από τον ημιαγωγό. Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια του φωτός μεταφέρεται στον ημιαγωγό. Η ενέργεια αυτή ελευθερώνει ηλεκτρόνια τα οποία κινούνται ελεύθερα μέσα στον ημιαγωγό. Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα έχουν επίσης ένα ή περισσότερα ηλεκτρικά πεδία που υποχρεώνουν τα ελευθερωμένα ηλεκτρόνια να κινούνται προς μία κατεύθυνση. Η κίνηση των ηλεκτρονίων είναι το ηλεκτρικό ρεύμα και με την τοποθέτηση μεταλλικών επαφών πάνω και κάτω από το κύτταρο το βγάζουμε για εξωτερική χρήση. Αυτό το ρεύμα μαζί με την τάση του φωτοβολταϊκού κυττάρου (που είναι αποτέλεσμα των ηλεκτρικών πεδίων του κυττάρου) καθορίζει την ισχύ του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγει το κύτταρο.

2.3.5. Μετατροπή Από Ηλιακό Κύτταρο (Solar Cell) Σε Ηλιακό Συλλέκτη (Solar Panel)

Stringing κύτταρα σε ηλιακούς συλλέκτες (solar panels)

Κάθε φάση της παραγωγής εξαρτάται από τις διαδικασίες με γεύσεις όλα δικά τους. Ο προσεκτικός έλεγχος των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης κυριαρχεί στην ανάπτυξη κρυστάλλων. Η διαδικασία Wafering απασχολεί την τριβή και την κοπή της ηλιακής κυψέλης. Η παραγωγή κυττάρων επικεντρώνεται στη χημεία. Οποιαδήποτε εργοστασιακή διαδικασία θα ήταν ελλιπής χωρίς ένα τελικό στάδιο συναρμολόγησης, και στα φωτοβολταϊκά ένα τέτοιο βήμα είναι γνωστό ως moduling.

Συγκόλληση (Soldering)

Η μονάδα παραγωγής είναι μια ιδιαίτερα αυτοματοποιημένη διαδικασία, στηριζόμενη στην ισχυρή ρομποτική χάλυβα για να αναλάβει την όλο και πιο βαριά ανύψωση της συναρμολογημένης φωτοβολταϊκής κυψέλης σε ενότητες που ζυγίζουν περίπου £ 45 ανά τεμάχιο. Κάθε ρομποτικό εργαλείο λειτουργεί μέσα σε ένα φράκτη ασφαλείας, που αποκλείει τους ανθρώπους από το σχεδιασμό. Πρώτον, τα κύτταρα συγκολλούνται μαζί σε σειρές (strings) των 10, χρησιμοποιώντας ένα πρότυπο με μεταλλικές υποδοχές για τη σύνδεση των κυττάρων. Οι έξι σειρές ορίζονται να σχηματίσουν ένα ορθογώνιο πλέγμα των 60 κυττάρων. Κάθε καλούπι είναι συγκολλημένο πάνω σε γυαλί.



Συναρμολόγηση (Framing)

Για να γίνει μια ενότητα (module), κάθε φύλλο απαιτεί όχι μόνο ένα πλαίσιο για να παρέχεται προστασία από τις καιρικές συνθήκες και άλλες επιπτώσεις, αλλά και ένα κουτί ακροδεκτών που θα επιτρέπει τις συνδέσεις μεταξύ των μονάδων ή με έναν μετατροπέα, συνδεδεμένο με αγωγό. Το ρομπότ τοποθετεί αυτά τα δύο.



Επιθεώρηση και παράδοση (Inspection and Shipping)

Ο προσεκτικός καθαρισμός και επιθεώρηση παρέχουν τις τελευταίες πινελιές, πριν κάθε μονάδα μπει σε παλέτες για παράδοση σε σπίτια και επιχειρήσεις.



Ηλιακός Συλλέκτης (Solar Panel)

Οι ηλιακοί συλλέκτες (solar panel) είναι φωτοβολταϊκά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους, επικαλυμμένα με ειδικές μεμβράνες και εγκλωβισμένα σε γυαλί με πλαίσιο από αλουμίνιο. Ανάλογα με την τεχνολογία και τον αριθμό των φωτοβολταϊκών κυψελών που τα αποτελούν έχουν και διαφορετικές τιμές ονομαστικής ισχύος. Έξι έως δέκα σειρές κυττάρων τότε "μεταφερθούν με λεωφορείο" μαζί (με συγκόλληση) για να δημιουργήσει το δίκτυο συλλέκτη. Αυτό το στάδιο της διαδικασίας τυπικά εκτελείται χρησιμοποιώντας ένα κολλητήρι.

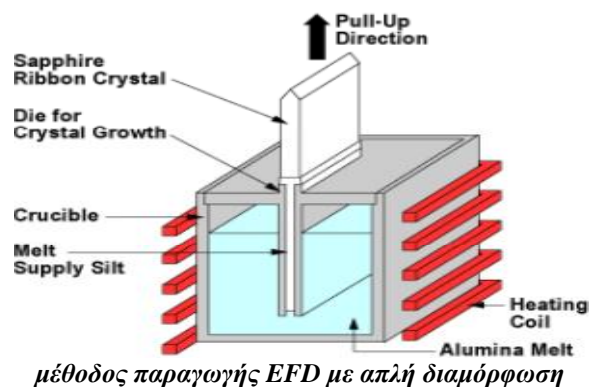
Μόλις όλα τα ηλιακών κυττάρων και stringing bussing είναι πλήρης, ένα άλλο στρώμα από γυαλί τοποθετείται στην κορυφή των κυττάρων. Ένα αντι-ανακλαστική επίστρωση εφαρμόζεται στη συνέχεια στην άνω επιφάνεια του γυαλιού. Στη συνέχεια, η μονάδα είναι σφραγισμένο και δοκιμάστηκαν για αποτελεσματικότητα. Αφού η μονάδα περνά επιθεώρηση, κινείται στο στάδιο της διαμόρφωσης, στη συνέχεια σε ένα προσομοιωτή ήλιο για να προσδιοριστεί αν η μονάδα παράγει επαρκή ισχύ.

2.3.6.Ταινίες Πυριτίου (Ribbon Silicon) - Λιγότερο Ενεργοβόρες Τεχνολογίες

Το πυρίτιο σε μορφή ταινίας μπορεί να παραχθεί με πολλές τεχνικές. Στόχος είναι η αποφυγή του κόστους που συνεπάγεται η διαδικασία κοπής, όπως περιγράφηκε παραπάνω, καθώς και η μείωση των απωλειών σε καθαρό πυρίτιο που συνεπάγεται. Πρόκειται για μια σχετικά νέα τεχνολογία φωτοβολταϊκών στοιχείων. Αναπτύσσεται από την Evergreen Solar. Προσφέρει έως και 50% μείωση στην χρήση του πυριτίου σε σχέση με τις "παραδοσιακές τεχνικές" κατασκευής μονοκρυσταλλικών και πολυκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών κυψελών πυριτίου. Από τις πολυάριθμες τεχνικές ουσιαστικά μόνο δύο κατέληξαν σε εμπορική χρησιμοποίηση.

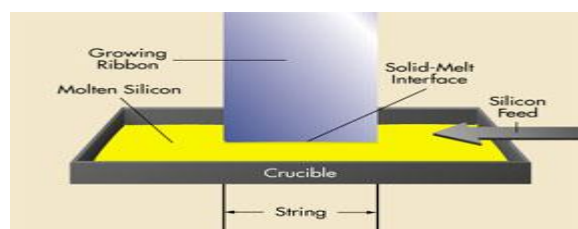
2.3.6.1. Edge Defined Film Fed Growth Διαδικασία (EFG)

Κατά τη διαδικασία αυτή παράγεται το Ribbon πυρίτιο μέσα από το λιωμένο υλικό μέσω ενός καλουπιού, το σχήμα του οποίου καθορίζει και τη μορφή της ταινίας. Τα παραγόμενα στοιχεία έχουν μικρότερη ποιότητα από τα μονοκρυσταλλικά και η επιφάνειά τους εμφανίζει ανωμαλίες. Παρόλα αυτά η απόδοσή τους φτάνει μέχρι το 14,8% για στοιχεία που έχουν φτιαχτεί σε γραμμή παραγωγής και για εμπορικούς σκοπούς.



2.3.6.2. String Ribbon Διαδικασία (STR)

Σε αυτή την τεχνική το πυρίτιο εξάγεται κατευθείαν από το δοχείο με το λιωμένο πυρίτιο χωρίς καλούπι το οποίο κρύνει και επανακρυσταλλοποιείται. Η διαδικασία είναι σχετικά απλή, καθώς χρησιμοποιούνται δύο λωρίδες που διαπερνούν το δοχείο στη βάση του και κινούνται με σταθερή ταχύτητα ανοδικά. Στην αρχή της διαδικασίας χρειάζεται ένας "πυρήνας", έτσι ώστε να γίνει η αρχή της ταινίας πυρίτιου. Το πάχος της ταινίας εξαρτάται κυρίως από την ταχύτητα με την οποία κινούνται οι δύο λωρίδες. Η απόδοσή τους μπορεί να φτάσει μέχρι και το 14-15%.



διαδικασία εξαγωγής λιωμένου πυρίτιου για την παραγωγή ταινίας πυρίτιου με τη μέθοδο STR

2.4. ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΟΣ ΛΕΠΤΟΥ ΥΜΕΝΙΟΥ (THIN FILM) PV PANEL

Η παραγωγή κυψελών λεπτού υμενίου γεννήθηκε γύρω στο 1990. Η χρησιμοποιούμενη μέθοδος είναι η εφαρμογή ενός λεπτού στρώματος ημιαγωγού υλικού επί ενός υποστρώματος (στις περισσότερες περιπτώσεις από γυαλί) μέσα από τις διαδικασίες της εξάτμισης, σπρέι ή ηλεκτρολυτικών δεξαμενών.

Μεταξύ των τριών εμπορικά διαθέσιμες τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης (CIS ή CIGS, CdTe και a-Si), η a-Si είναι η πιο σημαντική από την άποψη της παραγωγής και εγκατάστασης.

Τα υλικά ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται περισσότερο σήμερα συνήθως είναι το άμορφο πυρίτιο, το μικρο- κρυσταλλικό πυρίτιο, ο χαλκός, το ινδίο, το δισεληνίο, και το τελλουριούχο καδμίου.

Πολλές νέες εταιρείες εργάζονται για την ανάπτυξη της παραγωγής λεπτών μεμβρανών βασίζεται σε μια προσέγγιση roll-to-roll . Αυτό σημαίνει ότι ένα εύκαμπτο υπόστρωμα, για παράδειγμα από ανοξείδωτο χάλυβα, επικαλύπτεται με στρώματα σε μία συνεχή διαδικασία. Η επιτυχής εφαρμογή των εν λόγω μεθόδου παραγωγής, θα προσφέρει ευκαιρίες για σημαντικά υψηλότερη απόδοση στην παραγωγή και χαμηλότερο κόστος.

Η Multicrystalline λεπτό υμενίου πάνω σε γυαλί (CSG) είναι μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία λεπτής μεμβράνης που τώρα εισέρχεται στη βιομηχανική παραγωγή. Η μικροκρυσταλλική τεχνολογία, ιδίως ο συνδυασμός άμορφου πυριτίου και μικροκρυσταλλικού πυριτίου (a-Si/m-Si), είναι μια άλλη προσέγγιση με ενθαρρυντικά αποτελέσματα .

2.4.1 . Κύριες Διαδικασίες Παραγωγής Λεπού Υμενίου (Thin Film) Pn Panel

2.4.1.1. Ρολό Σε Ρολό (Roll- To-Roll) Διαδικασία

Η roll- to-roll διαδικασία είναι επίσης γνωστή ως web μεταποίηση , reel- to- reel μεταποίηση ή R2R , είναι η διαδικασία της δημιουργίας ηλεκτρονικών συσκευών για ένα ρολό από εύκαμπτο πλαστικό ή μεταλλικό φύλλο. Η roll - to- roll διαδικασία είναι μια τεχνολογία η οποία είναι ακόμα σε εξέλιξη .

Αν οι συσκευές ημιαγωγών μπορούν να κατασκευαστούν με τον τρόπο αυτό σε μεγάλα υποστρώματα , πολλές συσκευές θα μπορούσαν να κατασκευαστούν σε ένα κλάσμα του κόστους της παραδοσιακής μεθόδου κατασκευής ημιαγωγών. Το πιο αξιοσημείωτο θα είναι το ηλιακά κύτταρα, τα οποία εξακολουθούν να είναι απαγορευτικά ακριβά για περισσότερες αγορές, λόγω του υψηλού κόστους ανά μονάδα επιφάνειας των παραδοσιακών τρόπων κατασκευής πυριτίου (μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού).

Ένα σημαντικό θέμα για ένα roll-to -roll σύστημα κυττάρων thin-film παραγωγής είναι ο ρυθμός εναπόθεσης του στρώματος μικροκρυσταλλικής, το οποίο να αντιμετωπιστεί χρησιμοποιώντας τις εξής τέσσερις προσεγγίσεις :

- Πολύ υψηλή συχνότητα ενισχυμένου πλάσματος χημικής εναπόθεσης ατμών (VHFPECVD)
- Μικροκύματα (MW) - PECVD
- Hot-wire (θερμό σύρμα) χημική εναπόθεση ατμών (hot- wire CVD)
- Χρήση υπερηχητικών ακροφυσίων σε εν σειρά (in-line) διαδικασία



roll to roll διαδικασία

2.4.1.2.PEVCD (Plasma) Διαδικασία

Το Πλάσμα ενισχυμένη χημική εναπόθεση ατμών (PECVD) είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για την εναπόθεση λεπτών ταινιών από μια κατάσταση του φυσικού αερίου (ατμός) σε στερεά κατάσταση υποστρώματος . Οι χημικές αντιδράσεις που εμπλέκονται στη διαδικασία εμφανίζονται μετά τη δημιουργία ενός πλάσματος των αντιδρώντων αερίων.

Το πλάσμα γενικά δημιουργείται από την RF(AC) συχνότητα ή DC εκκένωση μεταξύ δύο ηλεκτροδίων, ο χώρος μεταξύ των οποίων είναι γεμάτος με τα αντιδρώντα αέρια.

Ένα πλάσμα είναι οποιοδήποτε αέριο, στο οποίο ένα σημαντικό ποσοστό από τα άτομα ή μόρια είναι ιονισμένο. Τα κλάσματα ιονισμού σε πλάσματα που χρησιμοποιούνται για την εναπόθεση και συναφών υλικών επεξεργασίας κυμαίνεται από 10⁻⁴ για τη τυπική χωρητική απόρριψη περίπου σε τόσο υψηλό όπως σε 5-10% υψηλής πυκνότητας επαγωγικών πλάσμάτων . Τα πλάσματα επεξεργασίας συνήθως λειτουργούν σε πιέσεις από λίγα millitorr σε μερικά torr, αν και οι απορρίψεις τόξου και τα επαγωγικά πλάσματα μπορούν να αναφλεγούν σε ατμοσφαιρική πίεση. Τα πλάσματα με χαμηλό κλασματικό ιονισμό έχουν μεγάλο ενδιαφέρον για επεξεργασία υλικών επειδή τα ηλεκτρόνια τους είναι τόσο ελαφριά, σε σύγκριση με άτομα και μόρια, που η ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ των ηλεκτρονίων και ουδέτερων αερίων είναι πολύ αναποτελεσματική . Ως εκ τούτου, τα ηλεκτρόνια μπορούν να διατηρηθούν σε πολύ υψηλές ισοδύναμες θερμοκρασίες - δεκάδων χιλιάδων kelvins, που ισοδυναμεί με αρκετά ηλεκτροβόλτ (electronvolts) μέσης ενέργειας - ενώ τα ουδέτερα άτομα παραμένουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος .

Αυτά τα ενεργητικά ηλεκτρόνια μπορούν να προκαλέσουν πολλές διαδικασίες που διαφορετικά θα ήταν πολύ απίθανο να γίνουν σε χαμηλές θερμοκρασίες, όπως η διάσπαση του πρόδρομα μόριου και η δημιουργία μεγάλων ποσοτήτων ελεύθερων ριζών.

Ένα δεύτερο πλεονέκτημα της εναποθέσεως εντός μιας απαλλαγής προκύπτει από το γεγονός ότι τα ηλεκτρόνια είναι πιο ευκίνητα από τα ιόντα. Κατά συνέπεια, το πλάσμα είναι συνήθως πιο θετικό από οποιοδήποτε άλλο αντικείμενο που είναι σε επαφή. Η τάση μεταξύ του πλάσματος και του αντικείμενου στις επαφές μειώνεται ομαλά σε μια λεπτή περιοχή του περιβλήματος . Τα ιονισμένα άτομα ή μόρια που διαχέονται προς το άκρο της περιοχής του περιβλήματος αισθάνονται μια ηλεκτροστατική δύναμη και επιταχύνονται προς τη γειτονική επιφάνεια . Έτσι , όλες οι επιφάνειες που εκτίθενται στο πλάσμα λαμβάνουν ενεργητικός βομβαρδισμό ιόντων. Το δυναμικό κατά πλάτος του περιβλήματος γύρω από ένα ηλεκτρικά απομονωμένο αντικείμενο είναι συνήθως μόνο 10-20 V, αλλά η πολύ υψηλότερη δυναμικά θήκη επιτυγχάνεται με προσαρμογές στη γεωμετρία του αντιδραστήρα και τη διαμόρφωση . Έτσι, οι ταινίες μπορούν να εκτίθενται σε ενεργητικό βομβαρδισμό

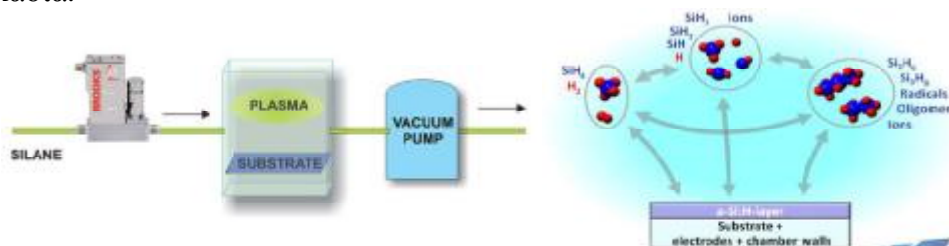
ιόντων κατά τη διάρκεια της εναπόθεσης. Αυτός ο βομβαρδισμός μπορεί να οδηγήσει σε αυξήσεις στην πυκνότητα της ταινίας, να βοηθήσει την απομάκρυνση προσμείξεων και να βελτιώσει της ηλεκτρικές και μηχανικές ιδιότητες της ταινίας. Όταν ένα υψηλής πυκνότητας πλάσματος χρησιμοποιείται, η πυκνότητα ιόντος μπορεί να είναι αρκετά υψηλή ώστε να συμβεί σημαντική επιμετάλλωση του εναποτιθέμενου φιλμ.

Η εναπόθεση πλάσματος χρησιμοποιείται συχνά στην κατασκευή ημιαγωγών για να καταθέσουν συμμορφωμένες ταινίες (που καλύπτουν πλευρικά τοιχώματα) και επάνω γκοφρέτες που περιέχουν μεταλλικά στρώματα ή άλλες ευαίσθητες στις θερμοκρασίες δομές. Το PECVD δίνει επίσης μερικές από τις ταχύτερου ρυθμού απόθεσης διατηρώντας παράλληλα την ποιότητα της ταινίας (όπως η τραχύτητα, ελαττώματα ή κενά), σε σύγκριση με εναπόθεσης καθοδικής διασκόρπισης και θερμική / ηλεκτρόνιο δέσμη εξάτμισης, οι οποίες συχνά είναι βάρους της ομοιομορφία.

Διοξειδία του πυριτίου μπορούν να εναποτεθούν χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό των αερίων προδρόμου πυριτίου όπως διχλωροσιλάνιο ή σιλανίου και οξυγόνο προδρόμου, όπως το οξυγόνο και το υποξείδιο του αζώτου, τυπικά σε πιέσεις από μερικά millitorr έως μερικά Torr. Το πλάσμα εναποτίθεται νιτρίδιου του πυριτίου, σχηματίζεται από σιλάνιο και αμμωνία ή άζωτο, χρησιμοποιείται ευρέως, αν και είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν είναι δυνατόν να κατατεθεί ένα καθαρό νιτρίδιο με αυτό τον τρόπο. Τα νιτρίδια πλάσματος πάντα περιέχουν μεγάλη ποσότητα υδρογόνου, το οποίο μπορεί να είναι συνδεδεμένο με το πυρίτιο (Si - H) ή το άζωτο (Si - NH). Αυτό το υδρογόνο έχει σημαντική επίδραση στη IR και UV απορρόφηση, τη σταθερότητα, τις μηχανικές καταπονήσεις και την ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Διοξειδία του πυριτίου μπορούν επίσης να εναποτεθούν από τετρααιθοξυσιλάνιο (TEOS) πυρίτιο προδρόμου σε ένα οξυγόνο ή οξυγόνο-αργού πλάσμα. Αυτές οι ταινίες μπορούν να έχουν μολυνθεί με σημαντικό άνθρακα και υδρογόνο ως σιλανόλη και μπορεί να είναι ασταθείς στον αέρα. Πιέσεις των λίγων Torr και μικρές αποστάσεις ηλεκτροδίων, ή/και διπλής αποθέσεως συχνότητας, είναι χρήσιμα για την επίτευξη υψηλών ποσοστών εναπόθεσης με καλή σταθερότητα ταινίας.

Υψηλής πυκνότητας πλάσματος εναπόθεση διοξειδίου του πυριτίου από σιλάνιο και οξυγόνο-αργού έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για να δημιουργήσουν μια σχεδόν ελεύθερη συμμορφωμένη υδρογόνο μεμβράνη πάνω σε πολύπλοκες επιφάνειες, ο τελευταίος προκύπτει από έντονο βομβαρδισμό ιόντων και επακόλουθη PEVCD διαδικασία.

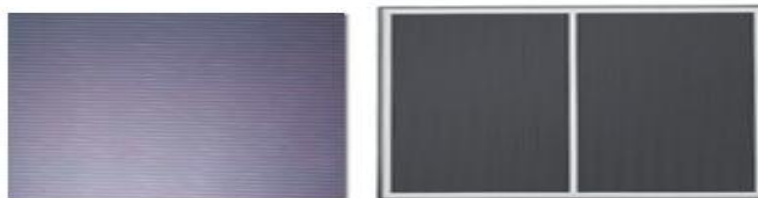


PECVD διαδικασία

2.4.2. Κρυσταλλικό Πυρίτιο Λεπού Υμενίου (C-Sitfc)

Οι πρώτες μελέτες σχετικά με λεπτότερο στρώμα πυριτίου έγιναν από τους M. Wolf και J.Lofersky στην προσπάθειά τους να βρουν τις ιδανικές παραμέτρους για υψηλή απόδοση του ηλιακού στοιχείου. Υπογράμμισαν ότι με τη μείωση του πάχους του ηλιακού στοιχείου η τάση ανοιχτοκυκλώσεως αυξάνεται εξαιτίας του

περιορισμένου ρεύματος κόρου, το οποίο είναι πάλι αποτέλεσμα μειωμένου ενεργού όγκου της κυψέλης. Το ευρύ φάσμα τεχνολογικών πλεονεκτημάτων μαζί με τη δυναμική για μια εντυπωσιακή μείωση του κόστους παραγωγής τονίστηκαν επίσης και από τον Goetzberger.



κρυσταλλικό πλαίσιο πυριτίου λεπτού υμενίου

Μετά από αυτές τις θεμελιώδεις έρευνες, χρειάστηκε λίγο παραπάνω από μια δεκαετία μέχρι ένας αυξημένος αριθμός ομάδων απομόνωσαν διάφορα τεχνολογικά προβλήματα και συνειδητοποίησαν ότι οι κυψέλες c-SiTFE μπορούν να τα λύσουν. Στις μέρες μας η κινητήριος δύναμη για την ανάπτυξη κυψελών κρυσταλλικού πυριτίου λεπτού υμενίου είναι η έμφυτη πιθανότητα για μείωση του κόστους παραγωγής των κυψελών, αν και αυτό το πλεονέκτημα δεν έχει πείσει ακόμα τις εταιρείες παραγωγής ηλιακών στοιχείων να το περάσουν στην γραμμή παραγωγής τους.

Παρόλο που το υπόστρωμα των c-SiTFE έχει πάχος μερικών μόνο μm (5 μέχρι 50 μm), έχει αποδειχθεί θεωρητικά, αλλά και στην πράξη ότι εμφανίζει αξιόλογη απόδοση. Το υπόστρωμα αποτελείται είτε από χαμηλής ποιότητας πυρίτιο είτε από άλλα υποστρώματα όπως γυαλί, κεραμικά ή γραφίτης, κάτι το οποίο κατεβάζει και το κόστος παραγωγής τους. Η επιλογή του υλικού του υποστρώματος καθορίζει τη μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία που αναπτύσσεται στην κυψέλη. Το κλειδί στην τεχνολογία είναι ο έξυπνος οπτικός σχεδιασμός, με αποτέλεσμα το φως μέσω ανακλάσεων να διαγράφει τελικά διαδρομή 30 φορές ή και περισσότερο, μεγαλύτερη από το πάχος του φιλμ. Υπάρχει εκτεταμένη έρευνα όσον αφορά το c-SiTFE που έχει αναδείξει την υψηλή απόδοση που μπορεί να πετύχει (μέχρι 21% κάτω από ιδανικές συνθήκες).

Η τεχνολογία λεπτού υμενίου έχει ως σκοπό την μείωση του κόστους, μέσω της μείωσης του απαιτούμενου υλικού για την παραγωγή των στοιχείων. Εκτός από το μειωμένο κόστος πλεονεκτούν και στην ευκολία με την οποία μπορεί να γίνει σύνδεσή τους σε σειρά, φτιάχνοντας έτσι ολόκληρα πλαίσια κατά τη διαδικασία εναπόθεσης. Από την άλλη όμως η διαδικασία αυτή είναι απαιτητική καθώς μεγάλες περιοχές πρέπει να παραχθούν χωρίς ελαττώματα.

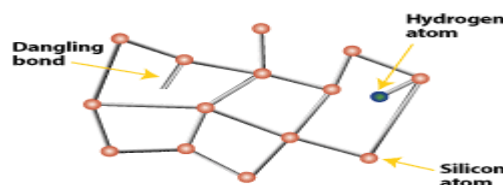
Οι κυψέλες λεπτής μεμβράνης έχουν το πλεονέκτημα να ανέχονται καλύτερα την σκίαση και να επηρεάζονται λιγότερο από τη θερμοκρασία από ό, τι τα κύτταρα πυριτίου.

Τρεις τύποι λεπτού υμενίου που είναι εμπορικά διαθέσιμοι αυτή τη στιγμή κατασκευάζονται από άμορφο πυρίτιο (a-Si), χαλκού/ινδίου/ δισεληνίου (CIS) ή χαλκού/ινδίου/δισεληνίου/ γάλιου(CIGS) και τελλουριούχο/κάδμιο (CdTe).

2.4.2.1. Άμορφου Πυριτίου Thin Film

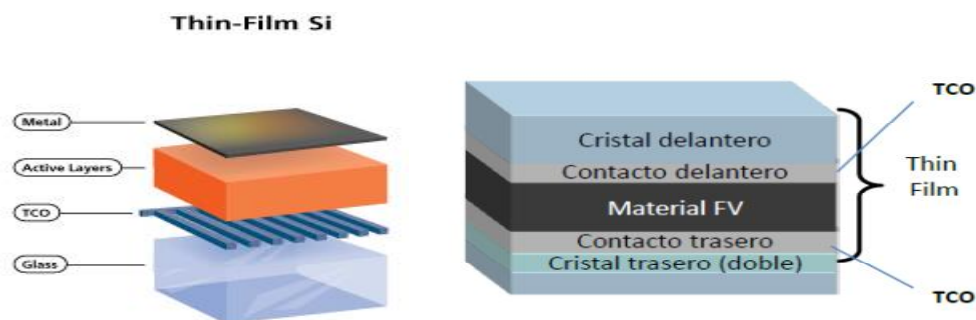
Το άμορφο πυρίτιο χρησιμοποιείται για την παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων σύμφωνα με την τεχνολογία λεπτού φιλμ. Ως υλικό εμφανίζει μεγάλη αταξία στη δομή του ώστε να μην υπάρχει διακριτά όρια κόκκων, παρά ταύτα βρίσκει εφαρμογή στη φωτοβολταϊκή τεχνολογία με τη μορφή ταινιών λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στη προκειμένη περίπτωση) πάνω σε υπόστρωμα γυαλιού από ένα αντιδραστικό αέριο όπως το σιλάνιο (ή τετραυδροπυρίτιο $4SiH$). Η προσθήκη υδρογόνου βελτιώνει τις ηλεκτρικές ιδιότητές του και περιέχεται σε 10-40% ατομική αναλογία.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία άμορφου πυριτίου έχουν μια κοκκινωπή-καφέ απόχρωση, σχεδόν μαύρη, και επιφάνεια αποτελούμενη από στενές, μεγάλου μήκους λωρίδες. Ο χαρακτηρισμός άμορφο φωτοβολταϊκό προέρχεται από τον τυχαίο τρόπο με τον οποίο είναι διατεταγμένα τα άτομα του πυριτίου. Διαφέρει ουσιαστικά από το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο καθώς εμφανίζει ενεργειακό διάκενο με μεταβλητή τιμή που κυμαίνεται μεταξύ 1,12eV και 1,7eV περίπου.



αταξία στη μορφή του άμορφου πυριτίου

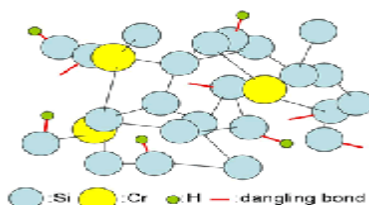
Το κύριο πλεονέκτημα του είναι ότι έχει υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας (104 cm^{-1}) και μάλιστα περίπου 40 φορές υψηλότερη από αυτή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου, αυτή του η ιδιότητα το φέρνει σε πλεονεκτική θέση έναντι των κρυσταλλικών όταν υπάρχει κυρίως διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Ως προς αυτή την ιδιότητά του το a-Si συμπεριφέρεται σχεδόν σαν ημιαγωγός άμεσου ενεργειακού διακένου, για αυτό μια λεπτή επίστρωση είναι αρκετή για την κατασκευή φωτοβολταϊκών στοιχείων. Επιπλέον το άμορφο πυρίτιο μπορεί να εναποτεθεί σε ποικίλα, χαμηλού κόστους υποστρώματα, συμπεριλαμβανομένου του χάλυβα, του γυαλιού και του πλαστικού.



Άλλη μέθοδος παρασκευής είναι με συμπύκνωση των προϊόντων θερμικής διάσπασης αερίων πυριτιούχων ενώσεων. Η κατασκευαστική διαδικασία απαιτεί χαμηλότερες θερμοκρασίες και επομένως λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. Έτσι το συνολικό κόστος του υλικού και του κόστους κατασκευής είναι χαμηλότερο ανά μονάδα επιφάνειας, συγκρινόμενο με τα στοιχεία κρυσταλλικού πυριτίου. Ένα

επιπρόσθετο πλεονέκτημα του είναι ότι στις υψηλές θερμοκρασίες η απόδοσή του μειώνεται λιγότερο από των κρυσταλλικών.

Πολύ σημαντική βελτίωση των ηλεκτρικών ιδιοτήτων του άμορφου πυριτίου γίνεται με προσθήκη ατόμων υδρογόνου, που αποτελούν τέρματα για τους ατελείς δεσμούς και χαλαρώνουν τον ιστό του σώματος. Το υδρογονούχο a-Si περιέχει συνήθως 10-40% υδρογόνο, σε ατομική αναλογία, και είναι με τη γενική έννοια, ένα άμορφο κράμα πυριτίου και υδρογόνου. Συμβολίζεται συχνά ως a-Si=H. Ανάλογα, και ίσως καλύτερα αποτελέσματα, έχει η προσθήκη ατόμων φθορίου αντί για άτομα υδρογόνου.



βελτίωση άμορφου πυριτίου με προσθήκη ατόμων υδρογόνου

Η τεχνολογία του άμορφου πυριτίου μειονεκτεί αισθητά στην απόδοση της η οποία κυμαίνεται μεταξύ 6–9% για στοιχεία του εμπορίου και φτάνει το 13% σε εργαστηριακές εφαρμογές υπό ιδανικές συνθήκες. Η μειωμένη απόδοση προέρχεται από την άμορφη κατασκευή του πυριτίου που έχει σαν αποτέλεσμα πολλοί από τους χημικούς δεσμούς στο a-Si να είναι ατελείς ή στρεβλωμένοι. Μειωμένη απόδοση σημαίνει ότι για να παραχθεί η ίδια ενέργεια απαιτείται σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκά στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια καθώς και ότι μέσα σε μερικούς μήνες λειτουργίας μπορεί η απόδοση να μειωθεί από 10% έως και 15 %.

2.4.2.2 . Δισεληνοϊνδιούχου Χαλκού CIS Thin Film

Το ημιαγώγιμο υλικό του δισεληνοϊνδιούχου χαλκού ($2 CuInSe$) είναι ένα ημιαγώγιμο υλικό, το οποίο μπορεί να είναι n-type ή p-type και έχει μια άμεση οπτική απορρόφηση με τον υψηλότερο συντελεστή απορρόφησης που έχει μετρηθεί μέχρι σήμερα για τις τεχνολογίες λεπτού υμενίου. Με την πρόσμιξη, μάλιστα, γάλιου η απόδοση του μπορεί να αυξηθεί ακόμα περισσότερο (CIGS). Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του CIS εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τον λόγο χαλκού/ινδίου, ενώ ο καλός έλεγχος της στοιχειομετρίας του θεωρείται ουσιώδης για αποδοτικές διατάξεις.



Thin Film CIS Solar Modules



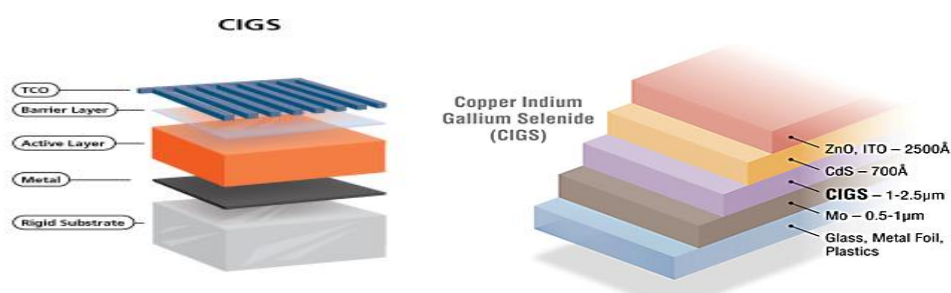
Crystalline Silicon Solar Modules

το σκούρο χρώμα του πλαισίου cis συνεισφέρει στην καλύτερη απορρόφηση του φωτός σε σχέση με το κρυσταλλικό πυρίτιο. το σκούρο χρώμα του επίσης τα κάνει πιο αισθητικό

Είναι δυνατόν να κατασκευασθούν ομοεπαφές τύπου p-n των CIS αλλά αυτές δεν θα είναι ούτε σταθερές ούτε αποδοτικές και οι καλύτερες διατάξεις μέχρι σήμερα είναι ετεροενώσεις με θειούχο κάδμιο (CdS). Το CdS μπορεί να αναπτυχθεί μόνο ως υλικό n-type για αυτό και το CIS πρέπει να είναι p-type. Το CIS έχει ενεργειακό διάκενο 1eV και παράγεται ως κιονοειδής πολυκρυσταλλική μεμβράνη, ενώ το CdS έχει ενεργειακό διάκενο 2,4eV και έτσι αυτό θα απορροφά έντονα όλη την προσπίπτουσα ακτινοβολία από το πράσινο μέχρι το μπλε άκρο φάσματος. Οι βέλτιστες διατάξεις χρησιμοποιούν ένα πολύ λεπτό στρώμα (0,03μm) του CdS με στρώμα παραθύρου ενός υλικού με μεγάλο ενεργειακό διάκενο και υψηλή αγωγιμότητα. Το οξειδίο του ψευδαργύρου (ZnO) έχει βρεθεί ότι είναι ένα κατάλληλο υλικό για το στρώμα του παραθύρου.

Μια σημαντική προσπάθεια έχει αφιερωθεί στην άνοδο της τεχνολογίας CIS κυρίως από τη SIEMENS. Έχουν φτιαχτεί στοιχεία CIS του εμπορίου, η απόδοση των οποίων πλησιάζει το 10%. Πλεονεκτούν σε σχέση με τα στοιχεία άμορφου πυριτίου, καθώς δεν εμφανίζουν βαθμιαία πτώση της απόδοσης για μια περίοδο μερικών ετών. Επίσης όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω προσφέρουν μεγάλη οικονομία σε ημιαγώγιμα υλικά. Από την άλλη όμως το CIS είναι ένα πολύπλοκο υλικό που δυσκολεύει την κατασκευή του. Σημαντικό επίσης μειονέκτημα είναι και οι περιορισμένες ποσότητες ινδίου In 49 που υπάρχουν στη φύση, γεγονός που ανεβάζει το κόστος παραγωγής του. Τέλος πολύ σημαντική είναι η ασφάλεια του προσωπικού κατά τη διάρκεια της κατασκευής του, αφού η παραγωγή του περιλαμβάνει το σεληνιούχο υδρογόνο, ένα εξαιρετικά τοξικό αέριο.

Η τυπική σύνθεση των ηλιακών ενοτήτων CIS thin-film είναι η εξής: υάλου (84%), πλαίσιο αλουμινίου (12%), TCO¹, το πολυμερές ενθυλακωτικό (3%, π.χ. EVA). Τα πιο σημαντικά υλικά που σχηματίζουν τις στιβάδες φωτοβολταϊκών (Mo, Cu, In, Ga, Se, Cd, Zn, S) αποτελούν μόνο ένα πολύ μικρό κλάσμα των περίπου 23 γραμμαρίων σε kg 15 τετραγωνικό μέτρο μεγέθους μονάδα.

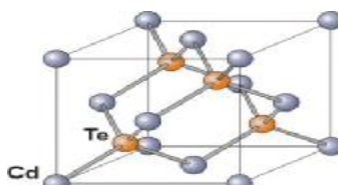


2.4.2.3. Τελλουριούχου Κάδμιου CdTe Thin Film

Το τελλουριούχο κάδμιο είναι ένα ημιαγώγιμο υλικό που αποτελείται από κάδμιο (Cd)48 και τελλούριο (Te)52, το οποίο έχει υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής

¹ TCO είναι ένα διαφανές αγωγίμο οξείδιο, το οποίο τοποθετείται επί της επιφάνειας μία επικάλυψη γυαλιού με ένα πάχος μερικών δεκάδων μm, επιτρέποντας τη μείωση των απωλειών από 8% σε 2%. Εκτός από αυτό, η θεραπεία επιφάνεια διευκολύνει τον καθαρισμό του γυαλιού, φιλτράρουν υπεριώδεις και υπέρυθρες ακτίνες που εξακολουθούν να μην απορροφούνται από τα κύτταρα και, συνεπώς, μπορεί να αυξήσει τη θερμοκρασία της μονάδας με ανεπιθύμητη τρόπο.

ακτινοβολίας και το ενεργειακό του διάκενο είναι πολύ κοντά στο ιδανικό. Αρκεί ένα όγκος πάχους ενός μικρόμετρου για να απορροφηθεί το 90 % του ηλιακού φάσματος.



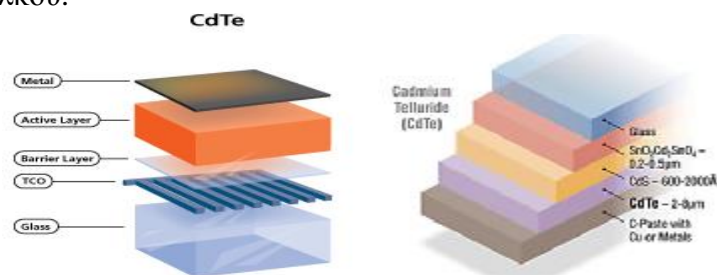
αναλογία στον κρύσταλλο του τελουριούχου καδμίου

Υπάρχουν μερικές χαμηλού κόστους τεχνικές, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απόθεση του CdTe και όλες αυτές, μπορούν, αφού υποστούν μια επεξεργασία μετά την απόθεση, να παράγουν υλικό υψηλής ποιότητας και αποδοτικά ηλιακά στοιχεία.

Η διαδικασία πλεγματικής εκτύπωσης των στοιχείων CdTe προσφέρει μια τεχνολογία με χαμηλό κόστος παραγωγής, αλλά από την άλλη και μια εντελώς χαμηλού ρυθμού παραγωγή. Το βήμα που περιορίζει το ρυθμό παραγωγής είναι η θερμοκρασιακή επεξεργασία της μελάνης εκτύπωσης μετά την απόθεση, η οποία απαιτεί σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (γύρω στους 500°C) για περιόδους μιας ώρας ή και περισσότερο. Με αυτή την τεχνολογία έχουν παραχθεί βασικές μονάδες με απόδοση 6% και έχουν ελεγχθεί σε εξωτερικές συνθήκες. Η εμπορική τους όμως διαθεσιμότητα είναι περιορισμένη.

Μια ακόμα τεχνολογία είναι αυτή της ηλεκτροτυπίας. Η τεχνολογία αυτή είναι ιδιαίτερα ευνοϊκή για τα στοιχεία CdTe, λόγω της πολύ μικρή χρήσης του υλικού και του χαμηλού κόστους. Η BP Solar έχει παράγει βασικές μονάδες με αποδόσεις πάνω από 10% και στοιχεία με αποδόσεις γύρω στο 13%. Οι έλεγχοι σταθερότητας σε εξωτερικές συνθήκες έχουν επιτευχθεί με ικανοποιητική επιτυχία. Από την άλλη όμως όπως και στο CIS, το κάδμιο είναι ένα τοξικό υλικό και θα πρέπει να λαμβάνονται αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγή του. Σύμφωνα, μάλιστα, με κάποιες έρευνες είναι καρκινογόνο με αποτέλεσμα να προβληματίζει το ενδεχόμενο της εκτεταμένης χρήσης του. Ήδη η Greenpeace έχει εναντιωθεί στην χρήση του. Ανασταλτικός παράγοντας είναι επίσης και η έλλειψη του μεταλλοειδούς τελούριου στη φύση.

Οι CdTe ηλιακές ενότητες thin-film αποτελούνται από τέσσερα στρώματα: ένα διαφανές στρώμα αγωγίμου οξειδίου που αποτελείται από SnO_2 , ένα μέτωπο επαφής γυάλινο υπόστρωμα TCO, ένα θειούχο κάδμιο (CdS), ένα n-τύπου στρώμα και CdTe ταινία και τέλος ένα στρώμα απορροφητή και ένα οπίσθιο επαφής αποτελείται από ένα στρώμα χαλκού.



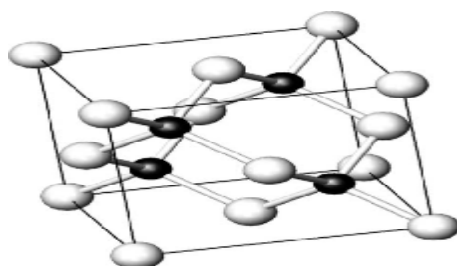
2.4.2.4. Αρσενικούχου Γαλλίου GaAs Thin Film

Το Γάλλιο Ga 31 είναι ένα παραπροϊόν της ρευστοποίησης άλλων μετάλλων όπως το αλουμίνιο και ο ψευδάργυρος. Είναι πιο σπάνιο ακόμα και από τον χρυσό. Το Αρσενικό As 33 δεν είναι σπάνιο άλλα έχει το μειονέκτημα ότι είναι δηλητηριώδες.

Το αρσενικούχο γάλλιο είναι ένας ημιαγωγός με ενεργειακό διάκενο 1,43 eV, τιμή η οποία είναι στη βέλτιστη περιοχή για τη φωτοβολταϊκή μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας με θεωρητική απόδοση περίπου 25-30%. Η απόδοση του στην μορφή πολλαπλών συνενώσεων (multijunction) είναι η υψηλότερη που έχει επιτευχθεί και αγγίζει το 29%. Ένα ακόμη πλεονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι το ενεργειακό διάκενο είναι άμεσο. Επίσης τα φωτοβολταϊκα στοιχεία GaAs είναι εξαιρετικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες γεγονός που επιβάλλει σχεδόν την χρήση τους σε εφαρμογές ηλιακών συγκεντρωτικών συστημάτων (solar concentrators). Επομένως το GaAs συνδυάζει καταρχήν ιδανικά τις προϋποθέσεις για να χρησιμοποιηθεί ως υλικό κατασκευής φωτοβολταϊκών στοιχείων.

Το μειονέκτημά του είναι το υψηλό κόστος παραγωγής, περίπου πενταπλάσιο από αυτό του κρυσταλλικού πυριτίου, του μονοκρυσταλλικού GaAs υποστρώματος.

Έχει εφαρμογή κυρίως σε ηλιακά στοιχεία συγκεντρωμένης ακτινοβολίας, όπου το υψηλό κόστος του αντισταθμίζεται από την υψηλή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας. Επίσης το GaAs συναντάται συχνά σε διαστημικές εφαρμογές λόγω της υψηλής θερμικής αδράνειάς του και του υψηλού βαθμού απόδοσης. Συγκεκριμένα η απόδοση των στοιχείων GaAs πέφτει στο μισό, σε σύγκριση με την απόδοσή τους σε συνηθισμένη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, όταν θερμανθούν στους $200^{\circ}C$. Η αντίστοιχη μείωση στα στοιχεία πυριτίου παρατηρείται ήδη στους $120^{\circ}C$.

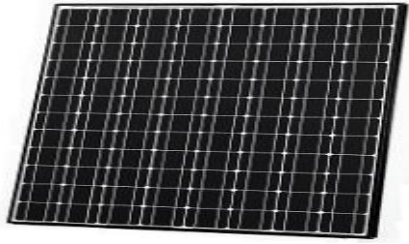


αναλογία ιόντων στον κρύσταλλο του αρσενικούχου γαλλίου, όπου με μαύρο παριστάνεται το δραστικότερο(μικρότερη ατομική ακτίνα) αρσενικό

2.5. ΣΤΑΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΥΒΡΙΔΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

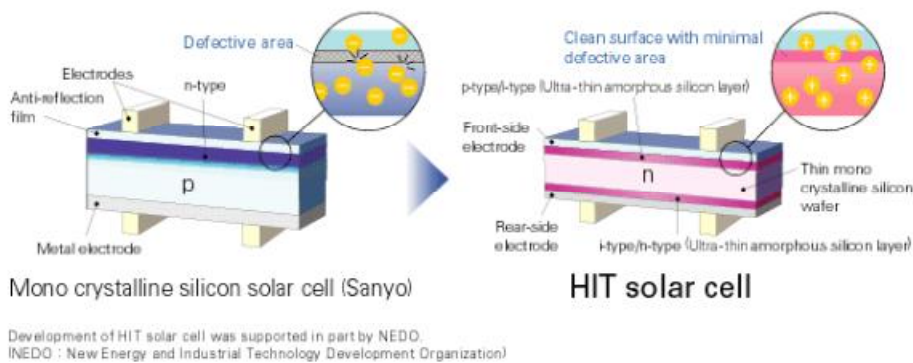
Τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία χρησιμοποιούν συνδυασμό των παραπάνω τεχνολογιών και αποτελούνται από στρώσεις υλικών διάφορων τεχνολογιών.

Η πιο γνωστή υβριδική τεχνολογία είναι η ετεροεπαφή με εσωτερικό λεπτό στρώμα ή Heterojunction with Intrinsic Thin-Layer (HIT) η οποία αναπτύχθηκε από την εταιρεία Sanyo Solar το 1992 και σήμερα έχει εγκατεστημένα πάνω από 250 MWp παγκοσμίως.



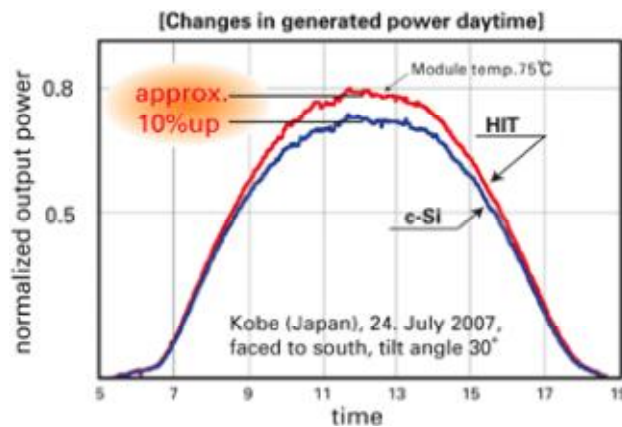
φωτοβολταϊκό πλαίσιο της sanyo solar με υβριδική τεχνολογία hit

Η τεχνολογία αυτή χρησιμοποιεί δύο διαφορετικά είδη ημιαγωγών υλικών για τη δημιουργία της επαφής pn, πιο συγκεκριμένα αποτελείται από δύο λεπτές (μικρότερες των 20 nm) στρώσεις, πάνω και κάτω, άμορφου πυριτίου ενώ ενδιάμεσα υπάρχει μια στρώση μονοκρυσταλλικού πυριτίου.



υβριδική τεχνολογία hit συγκρινόμενη με μονοκρυσταλλικό στοιχείο

Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτής της τεχνολογίας είναι ο υψηλός βαθμός απόδοσης του πλαισίου που φτάνει σε εμπορικές εφαρμογές στο 17,2% και το οποίο σημαίνει ότι απαιτείται μικρότερη επιφάνεια για την ίδια εγκατεστημένη ισχύ. Τα αντίστοιχα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν απόδοση 19,7%. Σημαντικό πλεονεκτήμα για τα υβριδικά φωτοβολταϊκά στοιχεία είναι η υψηλή τους απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες αλλά και η μεγάλη τους απόδοση στην διαχεόμενη ακτινοβολία.



σύγκριση απόδοσης στους 75 ο c της υβριδικής τεχνολογίας HIT και του κρυσταλλικού πυριτίου

2.6. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΜΕ ΟΛΕΣ ΤΙΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

| ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ | ΑΠΟΔΟΣΗ | ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ | ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ |
|--|---------|---|---|
| Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο | 14-19% | <ul style="list-style-type: none"> ομοιόμορφη κρυσταλλική δομή υψηλός βαθμός απόδοσης | <ul style="list-style-type: none"> υψηλό κόστος παραγωγής μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής ενεργοβόρα διαδικασία παραγωγής τους |
| Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο | 10-14% | <ul style="list-style-type: none"> πιο οικονομική διαδικασία παραγωγής σε σχέση με το μονοκρυσταλλικό τετραγωνικά δισκίδια επιτρέπουν μεγαλύτερο συντελεστή κάλυψης | <ul style="list-style-type: none"> χαμηλότερη απόδοση σε σχέση με το μονοκρυσταλλικό μεγάλες απώλειες κατά τη διαδικασία κοπής |
| Thin film πυρίτιο | <17% | <ul style="list-style-type: none"> λιγότερο χρησιμοποιούμενο υλικό φθηνό υλικό υποστρώματος | <ul style="list-style-type: none"> περιορισμένη εμπορική παραγωγή |
| Άμορφο πυρίτιο | 6-9% | <ul style="list-style-type: none"> χαμηλότερο κόστος παραγωγής σε σχέση με το κρυσταλλικό υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας | <ul style="list-style-type: none"> μικρός βαθμός απόδοσης βαθμιαία μείωση της απόδοσης με το πέρασμα του χρόνου |
| Δισεληνίου χος ινδιούχος χαλκός | <10% | <ul style="list-style-type: none"> υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας δεν εμφανίζει βαθμιαία πτώση απόδοσης όπως το άμορφο πυρίτιο | <ul style="list-style-type: none"> πολύπλοκο υλικό αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγική του διαδικασία περιορισμένη εμπορική παραγωγή |
| Τελουριού χο κάδμιο | 6-13% | <ul style="list-style-type: none"> υψηλό επίπεδο απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας χαμηλό κόστος παραγωγής | <ul style="list-style-type: none"> περιορισμένη εμπορική παραγωγή αυξημένα μέτρα προστασίας κατά την παραγωγική του διαδικασία |
| Αρσενικού χο γάλλιο | 25-30% | <ul style="list-style-type: none"> μεγάλος βαθμός απόδοσης υψηλή θερμική αδράνεια | <ul style="list-style-type: none"> πενταπλάσιο κόστος παραγωγής από αυτό των κρυσταλλικών |
| Ribbon πυρίτιο | <15% | <ul style="list-style-type: none"> λιγότερες απώλειες κατά τη διαδικασία παραγωγής | <ul style="list-style-type: none"> χειρότερη ποιότητα πυριτίου σε σχέση με το κρυσταλλικό περιορισμένη εμπορική παραγωγή |
| Υβριδικές τεχνολογίες | <19% | <ul style="list-style-type: none"> υψηλή απόδοση ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες υψηλή απόδοση σε συνθήκες νέφωσης | <ul style="list-style-type: none"> υψηλό κόστος παραγωγής λόγω μονοκρυσταλλικού πυριτίου και άλλων υλικών |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο - ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΣΥΣΤΑΣΗ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Εισαγωγή

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρω αναλυτικά στην ανακύκλωση και ανασύσταση κρυσταλλικής ΦΒ μονάδας και πιο συγκεκριμένα στην ανακύκλωση και ανασύσταση πυριτίου, το οποίο είναι η βασικότερη πρώτη ύλη για την παραγωγή του φωτοβολταϊκού panel. Προέρχεται από την άμμο και είναι το δεύτερο πιο κοινό στοιχείο στο φλοιό της Γής. Καθώς αναφέρω και ποιες εταιρίες αναλαμβάνουν την ανακύκλωσή του.

Στη συνέχεια αναφέρομαι στους τρόπους απόσυναρμολόγησης της ΦΒ μονάδας και την συλλογή του πυριτίου από αυτές. Στην αρχή χρησιμοποιούσαν την διαλυτοποίηση της μονάδας με οξύ, αλλά αυτή ήταν μια χρονοβόρα διαδικασία και άφηνε υπολείμματα EVA στο κύτταρο. Ύστερα ανακάλυψαν την πυρόλυση ολόκληρης της μονάδας σε καμίνι, αλλά και αυτή ήταν προβληματική για το κύτταρο. Έτσι βρήκαν μία νέα μέθοδο τη θερμική διαδικασία που σε συνδυασμό με την χημική διαδικασία έχουμε πιο αποτελεσματικό τρόπο συλλογής και καθαρισμού των κυττάρων πυριτίου αντίστοιχα.

Και στο τέλος αυτού του κεφαλαίου αναφέρω την εσωτερική ανακύκλωση που κάνει κάθε εταιρία από το "περισσευόμενο" πυρίτιο από την κοπή ράβδων και κύβων πυριτίου, καθώς και την ανακύκλωση των αποβλήτων πυριτίου (σπασμένα κύτταρα και κυψέλες) που ύστερα από χημική διαδικασία και μηχανική σύνθλιψη έχουμε κόκκους πυριτίου έτοιμους προς χρήση.

3.1.Γενικά Για Την Ανακύκλωση Φωτοβολταϊκού Panel

Τα τελευταία χρόνια, τα φωτοβολταϊκά συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο και έχουν βιομηχανικές, εμπορικές και οικιστικές εφαρμογές.

Οι φωτοβολταϊκές μονάδες περιέχει επικίνδυνα υλικά, όπως Pb, Cd, Cr και Bi, τα οποία έχουν προκαλέσει σοβαρές ασθένειες στον άνθρωπο λόγω της τοξικότητάς τους, γι' αυτό στο τέλος του κύκλου ζωής τους θα πρέπει να ανακυκλώνονται.

Οι φωτοβολταϊκές μονάδες έχουν εγκατασταθεί εκατομμύρια σε όλο τον κόσμο κατά τις τρεις τελευταίες δεκαετίες. Με μια διάρκεια ζωής μεταξύ 20 έως 30 χρόνια ή και περισσότερο. Η βιομηχανία έχει δώσει λίγη σκέψη για το τι πρέπει να κάνουμε με τα απόβλητα αφού οι ενότητες πλησιάζουν στη λήξη της ζωής τους. Η μεγάλη εισροή των αποβλήτων των μονάδων δεν θα συμβεί μέχρι το 2020, σύμφωνα με το PV Cycle, (ένα σωματείο που ιδρύθηκε το 2007 από τους κατασκευαστές φωτοβολταϊκών αφιερωμένο στη θέσπιση ανάληψης και ανακύκλωσης του συστήματος για το τέλος της ζωής του φωτοβολταϊκών μονάδων σε όλη την Ευρώπη). Εκτιμάται ότι η συνολική ποσότητα σκραπ προς ανακύκλωση θα είναι ίση με 13.300 τόνοι το 2030 και 35.000 τόνοι το 2040.

Οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν την διάρκεια ζωής των φωτοβολταϊκών μονάδων είναι: η αποσύνθεση του αιθυλενίου οξικού βινυλίου (EVA) από το ηλιακό φως, η κατεδάφιση των εσωτερικών υλικών από εξωτερικές επιδράσεις όπως το σπασμένο γυαλί και τα ελαττώματα στις κυψέλες των ηλιακών κυττάρων, οι

ηλεκτρικές βλάβες, τα ελάττωμα laminate, τα ελαττωματικά προϊόντα ή τις ζημιές της διαδικασίας τοποθέτησής τους.

Στο τέλος του κύκλου ζωής τους οι ενότητες αντιμετωπίζονται ως βιομηχανικά απόβλητα, από τα οποία το γυαλί και τα μέταλλα είναι ανακυκλώσιμα εξαρτήματα, αλλά όχι τα κύτταρα. Η πλειοψηφία των απορριπτόμενων γκοφρετών είναι άθικτες, και οι μέθοδοι ανακύκλωσης έχουν αναπτυχθεί από διάφορες ερευνητικές ομάδες για την ανακαίνιση παλαιών ηλιακά κύτταρα σε νέα κύτταρα με παρόμοια απόδοση.

Το πιο πολύτιμο υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών κυψέλων είναι το πυρίτιο. Λαμβάνοντας υπόψη την τιμή και το επίπεδο της προσφοράς του καθαρού πυριτίου (λόγω της υψηλής απαίτησης ποιότητας για την ανάκτηση του πυριτίου) η ανάκτηση του καθαρού πυριτίου από κατεστραμμένες ή στο τέλος του κύκλου ζωής φωτοβολταϊκές μονάδες μπορεί να οδηγήσει σε οικονομικά οφέλη όχι μόνο περιβαλλοντικά οφέλη.

Ωστόσο, καθώς το πάχος των πλακιδίων μειώνεται αναμένεται να γίνει πιο δύσκολο για την ανάκτηση ακέραια κύτταρα και, σήμερα, η κύρια εστίαση είναι να ανακτήσει την πυριτίου ως πρώτη ύλη, την ανάκτηση χωριστών καθαρά κλάσματα από διάφορα μέταλλα, το γυαλί και το πυρίτιο. Μια βασική απαίτηση μιας τέτοιας στρατηγικής είναι ότι κάθε ανακτηθεί πυρίτιο πρέπει να είναι αρκετά καθαρό για επαναχρησιμοποίηση στην κατασκευή πλακιδίων και έχουν χαμηλό κόστος.

3.2.Ανάκτηση Φωτοβολταϊκών Panel Από Εταιρίες Ανακύκλωσης Πυριτίου

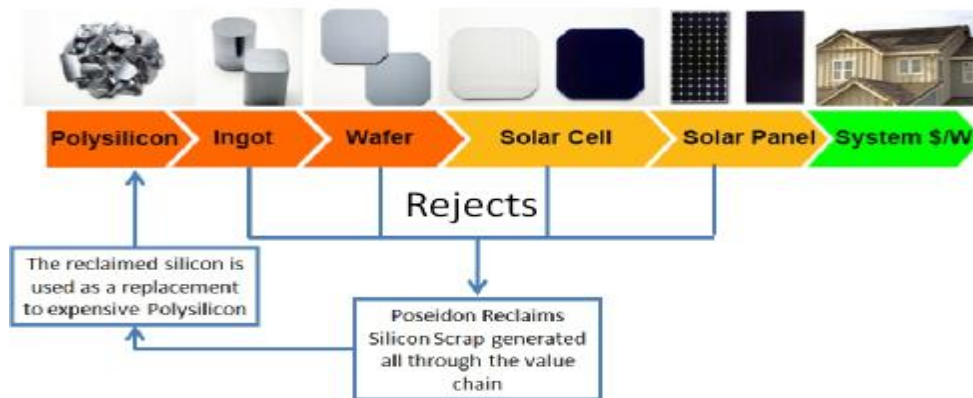
Υπάρχουν αρκετές εταιρίες στον κόσμο με εγκαταστάσεις ανακύκλωσης πυριτίου, οι οποίες δίνουν σημασία στο περιβάλλον και στην ασφάλεια του προσωπικού της. Οι εγκαταστάσεις ανακύκλωσης είναι συμμορφωμένες με αυστηρούς περιβαλλοντικούς κανονισμούς. Τα αυτοματοποιημένα εργοστάσια τους, καταργούν την ανάγκη για ανθρώπινη επαφή με τα χημικά, έτσι εξασφαλίζουν την ασφάλεια των φορέων τους και της ποιότητας του προϊόντος.

Οι εταιρίες ψάχνουν να αγοράσουν και να ανακυκλώσουν όλα τα είδη των προϊόντων πυριτίου σε όλες τις μορφές.

Όλο το υλικό πυριτίου που ανακυκλώνεται θα πρέπει να υποστεί νέα τήξη και να ξαναχρησιμοποιηθεί για την κατασκευή των ηλιακών κυψελών και πάνελ.

Τα είδη πυριτίου από χρήση ΦΒ μονάδων που ανακυκλώνουν οι εταιρίες είναι τα ακόλουθα:

- Ολόκληρες (Round) γκοφρέτες (Wafer) όλων των μεγεθών που απορρίπτονται από τη βιομηχανία ημιαγωγών.
- Σπασμένες (Broken) γκοφρέτες που απορρίπτονται από τη βιομηχανία ημιαγωγών
- Χωρίς κοψίματα και σπασμένα μοτίβα (IP) από γκοφρέτες που απορρίφθηκαν από τη βιομηχανία ημιαγωγών.
- Σπασμένες (Broken) ηλιακές γκοφρέτες
- Σπασμένα (Broken) ηλιακά κύτταρα (cells)
- Ολόκληρα (Unbroken) ηλιακά κύτταρα χαμηλής απόδοσης
- Άχρηστα Αποκόμματα Pot καθώς και κορυφές Tops , ουρές Tails και φτερά τμήματα από πλινθώματα (ingots) από την κοπή
- Κομμάτια πολύ-σιλικόνης (Poly Silicon) που απορρίπτονται από τη βιομηχανία
- Ράβδους πυριτίου που απορρίπτονται από τη βιομηχανία



Παρά το γεγονός ότι πολλές εταιρείες εξετάζουν ενεργά τα θέματα που εμπλέκονται, η Deutsche Solar AG της οποίας τα συστήματα καλύπτουν κρυσταλλικού πυριτίου μονάδες, είναι η μόνη εταιρεία που έχει εφαρμόσει ενεργά συστήματα ανακύκλωσης μονάδων μέχρι σήμερα.

3.3.ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΙΜΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Το πυρίτιο από τα φωτοβολταϊκών μονάδων που ανακυκλώνουν οι εταιρίες, χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες:

- A) Την Ανακύκλωσης μονάδας
- B) Εσωτερική ανακύκλωση
- Και Γ) Τα Si-αποβλήτων

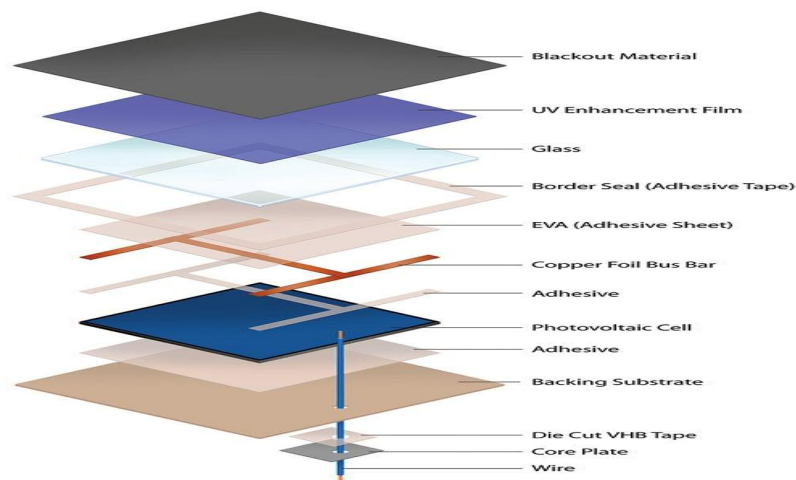
3.3.1.A) ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Η ανακύκλωσης μονάδας ονομάζεται η ανακύκλωση ολόκληρων των φωτοβολταϊκών panel μεταχειρισμένων και κατεστραμμένων, όλων των τύπων πλαισίων του εμπορίου. Διαλύοντας τα και παίρνοντας από αυτά με διαφοράς μεθόδους ανακυκλώσιμα υλικά όπως το πυρίτιο, το γυαλί και αρκετά μέταλλα.

3.3.1.1.Αποσυναρμολόγηση Των Φωτοβολταϊκών Μονάδων

Τα ηλιακά κύτταρα των φωτοβολταϊκών μονάδων του κρυσταλλικού πυριτίου αποτελούνται από τα ακόλουθα στοιχεία: γυαλί, αλουμίνιο πλαίσιο, αιθυλενίου οξικού βινυλίου (EVA) ρητίνη διαφανές στρώμα, φωτοβολταϊκά κύτταρα, παράθυρο εγκατάστασης, Tedlar² προστατευτική μεμβράνη και τα μπουλόνια του συγκροτήματος.

² Tedlar είναι για μία ευέλικτη σανίδα πάχους περίπου 1mm, λευκή, χημικώς αδρανές, ανθεκτική και ελαφριά, η οποία αντιπροσωπεύει το πίσω μέρος της φωτοβολταϊκής μονάδας Διατηρεί τη δύναμη και την ευελιξία της μέσα στα όρια θερμοκρασίας από -70 °C έως 110°C, έχει επιμήκυνση πάνω από 100 %, αντοχή στη φθορά, στις καιρικές συνθήκες και UV φως και είναι εύκολη να καθαριστεί.



σχηματική απεικόνιση της solar cell

Γενικά, το πρώτο βήμα της διαδικασίας ανακύκλωσης, από τα απόβλητα φωτοβολταϊκών μονάδων είναι να αφαιρεθεί η EVA³ ρητίνη που χρησιμοποιείται συνήθως στις φωτοβολταϊκές μονάδες ως μια ανώτερη αντίσταση στην υγρασία. Για την απομάκρυνση των EVA, χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, όπως η διάλυση με τη χρήση νιτρικού οξέος και η θερμική αποσύνθεση. Ωστόσο, αυτές οι μέθοδοι βρέθηκαν να είναι ανεπαρκείς για την πλήρη απομάκρυνση του EVA.

3.3.1.1.1.Μεθόδου Διαλυτοποίησης Με Νιτρικό Οξύ

Στην περίπτωση της μεθόδου διαλυτοποίησης με νιτρικό οξύ, είναι δύσκολο για το νιτρικό οξύ να διαπεράσει την φωτοβολταϊκή μονάδα. Αν και η θερμοκρασία του νιτρικού οξέος μπορεί να αυξηθεί για να επιτευχθεί υψηλή αποσύνθεση, παίρνει πολύ χρόνο. Επιπλέον, αν και το PV κύτταρο και το γυαλί τελικά ανακτώνται, λευκά υπολείμματα του υλικού EVA παρέμεναν επί της επιφανείας του PV κυττάρου.

3.3.1.1.2.Θερμική Διαδικασία – Πυρόλυση

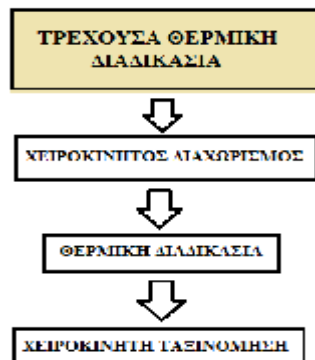
Η θερμική αποσύνθεση έχει επίσης προβλήματα επειδή απαιτεί την εισαγωγή του συνόλου των αποβλήτων φωτοβολταϊκών μονάδων εντός ενός κλιβάνου.

Αυτά είναι τα είδη των δυσκολιών που ώθησε την ανάπτυξη μια νέας μεθόδου της ανακύκλωσης των φωτοβολταϊκών μονάδων. Το γυαλί ανακτήθηκε με τη χρήση οργανικού διαλύτη. Και το EVA απομακρύνθηκε με θερμική αποσύνθεση. Τέλος, το πυρίτιο ελήφθη μέσω κατεργασίας με χημική χαρακτηριστική για απομάκρυνση ακαθαρσιών μετάλλου στην επιφάνεια των φωτοβολταϊκών κυττάρων που ανακτύθηκαν. Ειδικότερα, ήταν εφικτή η παραγωγή υψηλής απόδοσης πυριτίου που μπορεί να είναι πολύτιμη για τους ερευνητές οι οποίοι ενδιαφέρονται για την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών μονάδων με τη χρήση επιφανειοδραστικής ουσίας.

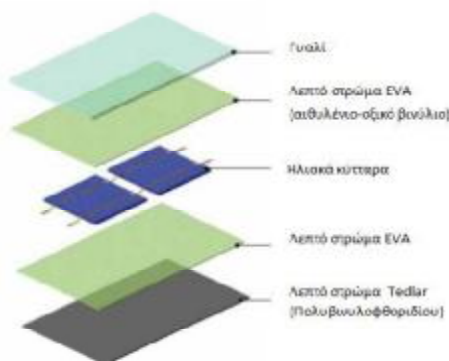
³ EVA είναι ένα συμπολυμερές του αιθυλενίου και του οξικού βινυλίου . Είναι μια εξαιρετικά ελαστική ένωση, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σχηματίσει ένα πορώδες υλικό όμοιο με ελαστικό, αλλά με εξαιρετική σκληρότητα. Το EVA χρησιμοποιείται σε φωτοβολταϊκά κύτταρα για την προστασία τους.

3.3.1.1.3. Τρέχουσα Θερμική Διαδικασία

Η ίδια γενική διαδικασία ανακύκλωσης χρησιμοποιείται από διάφορες εταιρείες.

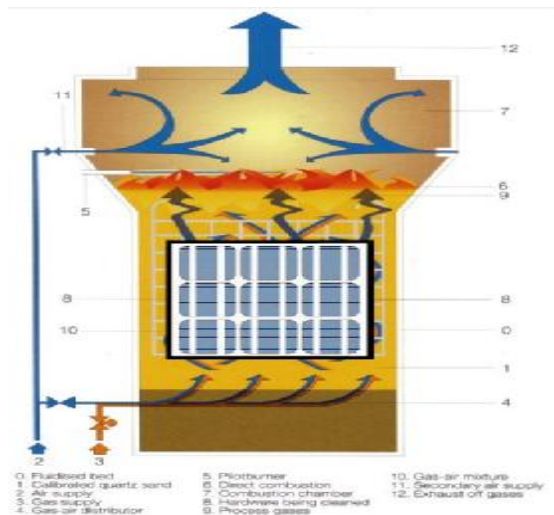


Πρώτον, η μονάδα διαλύεται και αφαιρείται χειροκίνητα από αυτή ο μεταλλικός σκελετός και η γυάλινη πλάκα, αφήνοντας την ηλιακή συστοιχία κυττάρων ανάμεσα σε μια αιθυλενίου οξικού βινυλίου (EVA) ρητίνη και πίσω ταινία. Για να ανακτήσουμε τα ηλιακά κύτταρα, η ρητίνη και η στήριξη πρέπει να απομακρυνθούν.



Το 2000, ανακαλύφθηκε μια μέθοδος για την απομάκρυνση θερμικά αυτών των στοιχείων, η οποία αναπτύχθηκε και βελτιστοποιήθηκε από την ερευνητική ομάδα Frisson. Η πυρόλυση σε έναν αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης είναι η καλύτερη τεχνική για μια βιομηχανικής- κλίμακας διαδικασία ανακύκλωσης.

Στον αντιδραστήρα, πολύ λεπτή άμμο επιτυγχάνει τις φυσικές ιδιότητες ενός υγρού, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και του χαμηλού μεγέθους σωματιδίων. Οι συστοιχίες wafer τοποθετούνται μέσα στην ρευστοποιημένη άμμου για 45 λεπτά στους 450°C. Τα EVA και οι πίσω ταινιών εξατμίζονται, και σε μορφή ατμού καίγεται στον τμήμα αέρος του αντιδραστήρα, που ενεργεί ως πηγή θερμότητας για τον αντιδραστήρα. Ογδόντα τοις εκατό των κυττάρων που διαχωρίζονται από αυτή τη διαδικασία είναι μηχανικά άθικτα. Μόλις τα EVA και τα πίσω φιλμ καίγονται, τα κύτταρα μπορούν να διαχωριστούν φυσικά και να επεξεργαστούν μεμονωμένα.



αντιδραστήρα ρευστοποιημένης κλίνης προς την αποφλοίωση των φωτοβολταϊκών μονάδων

Η Ανόπτηση (ξεπύρωμα) των κυττάρων (cells) στον ρευστοποιημένο αντιδραστήρα είναι η αιτία να μειωθεί σημαντικά η αποδοτικότητα των ηλιακών κυττάρων.

3.3.1.1.4. Νέα Αυτόματη/Μηχανική Θερμική Διαδικασία

Η μονάδα αρχικά εισέρχεται σε μηχάνημα Αυτόματου Διαχωρισμού (Automatic Feeding), στο οποίο η αφαίρεση του μεταλλικού σκελετού και της γυάλινης πλάκας της μονάδας γίνεται αυτόματα και όχι χειροκίνητα.



Στη συνέχεια η ηλιακή συστοιχία κυττάρων η ρητίνη (EVA) και η στήριξη εισέρχονται σε καμίνι θερμικής διαδικασίας και στους 600°C. Εκεί θα καούν και θα μείνουν τα κύτταρα ελεύθερα.



εικόνα panel μετά την θερμική διαδικασία

Μετά την θερμική διαδικασία γίνεται αυτόνομη ταξινόμηση και κατηγοριοποίηση από το μηχάνημα και διαχωρίζονται τα κουφώματα, τα μεταλλικά ελάσματα και το γυαλί (από την πυκνότητα και το κοσκίνισμα), αφήνοντας τα κύτταρα ανεξάρτητα και έτοιμα για την επόμενη διαδικασία.



*κουφώματα
(frames)*



*μεταλλικό έλασμα
(ribbons)*



*γυαλί
(glass)*



εικόνα cell μετά την απομάκρυνση κουφώματος, μεταλλικού ελάσματος και γυαλιού

Οι λόγοι για την ανάγκη δημιουργία της νέας διαδικασίας είναι:

- Η Αύξηση του όγκου των ελαττωματικών ηλιακών συλλεκτών
- Η μείωση της ανάκτησης ολόκληρων κυττάρων
- Η αναποτελεσματικότητα του διαχωρισμού με το χέρι από γυαλί-cell-connector
- Μεγάλη ποικιλία προϊόντων

Στόχοι της νέας διαδικασίας

- Τα υψηλά ποσοστά ανακύκλωσης
- Πολύτιμες τελικό προϊόν
- Η οικονομική αποδοτικότητα

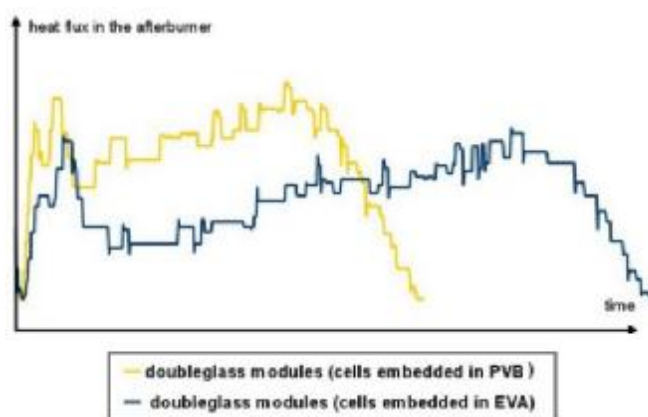
Βασικά σημεία της νέας διαδικασίας

- Απομάκρυνση των οργανικών συστατικών σε θερμική στάδιο της διαδικασίας
- Αυτόματος διαχωρισμός των συστατικών
- Προηγμένη χημική διεργασία

3.3.1.1.5.Θερμική Διαδικασία Σε Παλιότερα ΦΒ Panel Από PVB “Pellworm”

Το πρώτο γερμανικό εργοστάσιο παραγωγής φωτοβολταϊκών το 1983 έφτιαχνε ΦΒ module από διπλό γυαλί, το οποίο συνορεύει με ανοξείδωτα πλαίσια χάλυβα. Κάθε module περιέχει είκοσι κελιά πολυκρυσταλλικού πυριτίου. Τα κύτταρα ενσωματώνονταν με PVB (Πολυβινυλοβουτανάλη- ένα είδος πλαστικού) και οι ενότητες συνδέονταν μεταξύ τους μέσω βυσμάτων.

Η διαδικασία ελέγχου της θερμικής επεξεργασίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το σχεδιασμό της μονάδας. Ο τύπος του ελάσματος και οι διαστάσεις της μονάδας επηρεάζουν την πορεία της διαδικασίας. Η ροή θερμότητας στην μετά-καύση εξαρτάται από την εκπομπή καυσαερίων κατά τη διάρκεια της θερμικής διαδικασίας.



σχηματική ροή θερμότητας στο μετά-καυστήρα κατά τη διάρκεια της θερμικής διαδικασίας μονάδων σε σχέση με εκείνη του διπλού ενότητας γυαλί άλλων κατασκευής

Οι δύο καμπύλες στο σχήμα δείχνουν τις διαφορές των μονάδων (module) διπλού γυαλιού με ενσωματωμένο PVB και EVA. Αν και οι διαστάσεις των δύο τύπων μονάδων διαφέρουν, ιδίως στη ποσότητα του ελάσματος, στο γυαλί, και στον ανοξείδωτο χάλυβα, κατά τη διάρκεια των δύο θερμικών διεργασιών ήταν σχεδόν ίσα. Όπως είναι ορατό στο διάγραμμα (σχήμα 9) οι εκπομπές αερίων κατά τη διάρκεια των δύο κύκλων στον κλίβανο διαφέρουν σημαντικά.

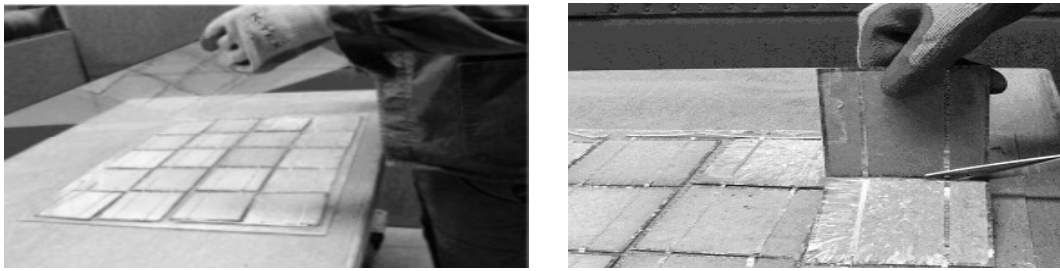
Κατά τη διάρκεια της πρώτης θερμικής επεξεργασίας το έλασμα των μονάδων κάρηκε, τα κύτταρα αφέθηκαν ελεύθερα και οι μονάδες θα μπορούν να διαχωριστούν στα ανακυκλώσιμα συστατικά τους:

- ακέραια κύτταρα,
- σπασμένα κύτταρα,
- κουφώματα από ανοξείδωτο χάλυβα και
- γυαλί

Η διαλογή των υλικών γίνεται χειροκίνητα.

Η ισχυρή διασύνδεση κατασκευασμένη από αλουμίνιο απαιτεί ειδικό χειρισμό και μεγάλη σύνεση στο διαχωρισμού του.

Επειδή τα tabs (καρτέλες) διασύνδεσης δεν μπορούν να αποσπαστούν εύκολα από τις επιφάνειες των κυττάρων, τα κύτταρα πρέπει να κοπούν χειρονακτικά πριν από τη συλλογή τους από το γυαλί.



διαχωρισμός υλικών μετά από θερμική διεργασία

Μετά από το διαχωρισμό των κυττάρων, η δεύτερη θερμική επεξεργασία είναι αναγκαία για την απομάκρυνση των υλικών διασύνδεσης αλουμινίου από αυτά. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα μεγάλα και βαθιά σημεία συγκόλλησης στην επιφάνεια των κυττάρων οδηγούν σε τρύπες, που γίνονται ορατές μετά την χαρακτηριστική διαδικασία.

3.3.1.1.6. Συμπέρασμα από την Αποσυναρμολόγηση Των ΦΒ Μονάδων

Τα φωτοβολταϊκά έχουν πλέον χωριστεί σε τρεις βασικές συνιστώσες: μέταλλο, γυαλί, και γκοφρέτες πυριτίου. Το μέταλλο και το γυαλί μπορούν να ανακυκλωθούν χρησιμοποιώντας την σύγχρονη υποδομή ανακύκλωσης, ενώ από τις γκοφρέτες πυριτίου θα πρέπει να απομονωθεί η βάση πυριτίου της γκοφρέτας (wafer).

Η μόνωση αυτή επιτυγχάνεται με χημική χάραξη, απομακρύνοντας τις διάφορες επιστρώσεις και p-n διασταύρωση, που προστίθενται στο πλακίδιο πυριτίου στην αρχική διαδικασία παραγωγής.

Πολλές ομάδες έχουν αναφέρει ότι τα ηλιακά κύτταρα που δημιουργήθηκαν από ανακυκλωμένες γκοφρέτες έχουν αποδόσεις παρόμοιες - αν όχι ίσες - με τα πρωτότυπα. Η βελτίωση της αποτελεσματικότητας των επανεπεξεργασμένων μονοκρυσταλλικών κυττάρων κυμαίνονταν από 15% έως 16,4%, και των επανεπεξεργασμένων πολυκρυσταλλικών κυττάρων είχαν αποτελεσματικότητας που κυμαίνονται από 12,7% έως 15,9%.

Οι άθικτες γκοφρέτες πυριτίου μπορούν να μεταποιηθούν σε νέα ηλιακά κύτταρα, χρησιμοποιώντας τυποποιημένες διαδικασίες παραγωγής ηλιακών κυττάρων, συμπεριλαμβανομένων τις: "ύφανσης (texturization), εκπομπού σχηματισμού (emitter formation), διασταύρωση παρασιτικής αφαίρεσης (parasitic junction removal), παθητικοποίηση (passivation), εναπόθεση επικάλυψης αντί-αντανάκλασης (antireflection coating deposition), και μπρος-πίσω επαφή με σχηματισμό (front and back contact formation)".

3.3.1.2.ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΩΝ ΦΒ ΜΟΝΑΔΩΝ

Ένα άλλο στάδιο της ηλιακών κυττάρων και την ανακύκλωση module - μετά το διαχωρισμό κυττάρων - είναι η ανάκτηση καθαρού πυριτίου. Για να εξαγάγετε τη βάση πυριτίου από εκμετάλλευση, παρωχημένες ή βλάβη PV κύτταρα, δύο μέθοδοι εισήχθησαν: χημική επεξεργασία και λέιζερ καθαρισμού επιφανείας.

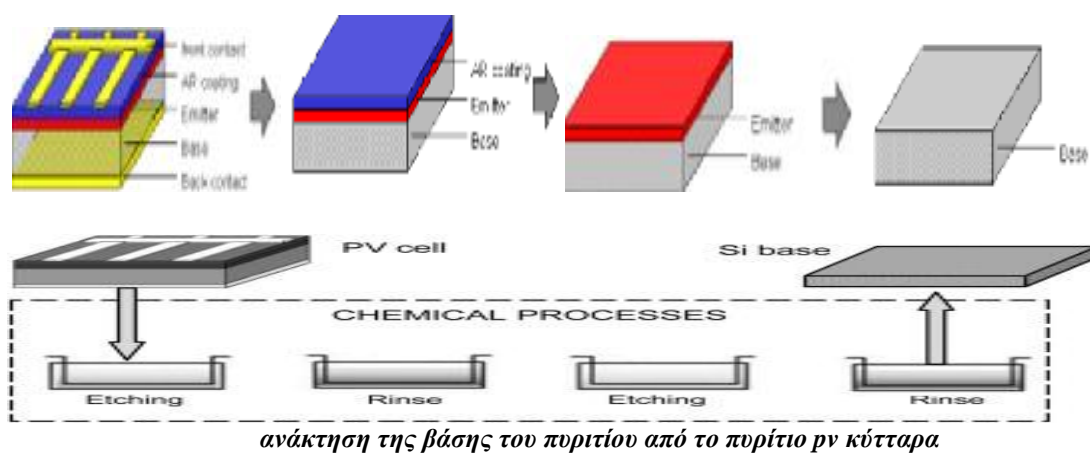
3.3.1.2.1.Χημική Διαδικασία

Η χημική διαδικασία είναι το σημαντικότερο στάδιο της διαδικασίας ανακύκλωσης. Οι συνθήκες χημικής επεξεργασίας θα πρέπει να ρυθμιστούν με ακρίβεια, ώστε να επιτευχθεί το απαιτούμενο επίπεδο καθαρότητας του ανακτηθέντος πυριτίου. Η χημεία της χαρακτηριστικής λύσης ατομικά, αναπροσαρμόζεται για τους διαφορετικούς τύπους κυττάρων πυριτίου.

3.4.1.2.2.Η Επιλεκτική Χάραξη Μετά Την Χημική Διαδικασία Ολόκληρου ΦΒ Κύτταρου

Το ΦΒ κύτταρο που ανακτήθηκε ολόκληρο από την θερμική διαδικασία, για να καθαριστεί όλη η επιφάνεια του κυττάρου, εμβαπτίζεται σε ένα χημικό διάλυμα που περιέχει υδροφθορικό οξύ (HF) χαράξεως, νιτρικό οξύ (HNO₃), θειικό οξύ (H₂SO₄), οξικό οξύ (CH₃COOH) και αποσταγμένο νερό ή τα ακόλουθα διαλύματα χαράξεως: HF/HNO₃/H₂O, H₂SiF₆/HNO₃ / H₂O ή H₂SiF₆/HNO₃/C₂H₄O₂. Έπειτα η ανάδευση πραγματοποιήθηκε για 60 λεπτά σε θερμοκρασία δωματίου.

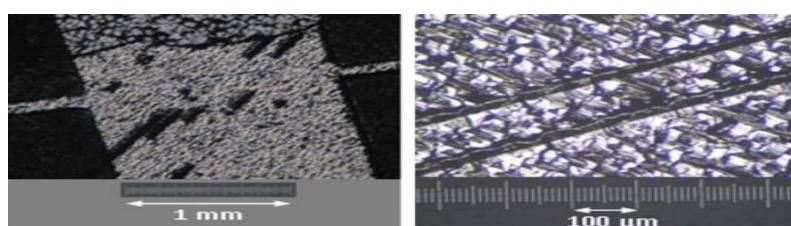
Η χημική επεξεργασία εμπλέκεται στο διαχωρισμό και την απομάκρυνση όλων των επικαλύψεων από το ηλιακό κύτταρο σταδιακά. Πρώτα απομακρύνεται η εμπρός και πίσω επιμετάλλωση (metallization) , ύστερα γίνεται η διάλυση της αντανάκλαστικής επικάλυψης (anti-reflecting coating) και τέλος της χάραξης των γκοφρετών πυριτίου (wafers) για την απομάκρυνση του n-p ντοπαρισμένου εκπομπού.



Στην επιλεκτική χάραξη όλα αυτά τα στρώματα απομακρύνθηκαν με αρκετά ανόργανα οξέα και μίγματα οξέων. Η χάραξη πρέπει να προσαρμοστεί στις διαφορετικές τεχνολογίες που χρησιμοποιούν τα κύτταρα (cell). Κατά συνέπεια, δεν

υπάρχει καθολική συνταγή, η οποία θα μπορούσε να εφαρμοστεί γενικά, επομένως τα βήματα της διαδικασίας θα πρέπει να τροποποιηθούν. Για παράδειγμα, αν ένα μέρος των κυττάρων είχε μια επιμετάλλωση αργύρου θα έπρεπε να απομακρυνθεί με μία όξινη χαρακτηριστική διαδικασία.

Το μεγαλύτερο μέρος των κυττάρων επικαλύπτεται με αλουμίνιο, το οποίο απαιτεί μια αλκαλική επεξεργασία, ως πρώτο βήμα. Η διαδικασία πρέπει να αναπτυχθεί με τέτοιο τρόπο, ώστε η υψηλή ηλεκτρονική ποιότητα της γκοφρέτας να διατηρηθεί. Πριν ξεκινήσει το επόμενο βήμα χάραξης, η πληρότητα του αντίστοιχου σταδίου είναι εξαιρετικά σημαντική για την προεπεξεργασία, καθώς απομακρύνεται σταδιακά το στρώμα. Στην περαιτέρω πορεία της διαδικασίας, μπορεί να πραγματοποιηθεί μια σταθερή επίθεση χάραξης στο επόμενο στρώμα πάνω από την πλήρη επιφάνεια της γκοφρέτας, η οποία αποφεύγει την υπό-χάραξη (underetching) ή τη διαμόρφωση του λάκκου (etch pits).



*α - εμπρόσθια όψη πριν χαρακτηριστική (μεγέθυνση 25 ×),
β - εμπρόσθια όψη μετά την χαρακτηριστική (μεγέθυνση 100 ×)*

Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στην ιστορία των κύτταρων είναι οι βαθιές τρύπες στις γκοφρέτες που δημιουργούνται από τις χορδές αλουμίνιου. Για να αφαιρεθεί το μέταλλο χρειάζεται ένα μεγάλο χρονικό διάστημα χάραξης στο διάλυμα NaOH. Η κύρια αποστολή σε αυτό το σημείο ήταν να βελτιστοποιηθεί στη χάραξη η θερμοκρασία, ο χρόνος και η συγκέντρωση αλκαλίων κατά τέτοιο τρόπο ώστε να απομακρυνθεί μόνο όσο πυρίτιο χρειάζεται.

Μια πολύ επιθετική χάραξη θα δημιουργήσει etch pits (λάκκους κοπής) και θα ενισχύσει τις διαφορές στη μορφολογία της επιφάνειας, όπως το αποτέλεσμα της ανισότροπης χαράξεως συμπεριφοράς των αλκαλικών λύσεων. Στην ακραία περίπτωση θα μπορούσε ακόμη και υπό τη μορφή διερχόμενης οπής (εικ. 15). Προφανώς, σε ορισμένες περιπτώσεις οι γκοφρέτες ήταν μόνο μερικά μm πάχους σε αυτές τις οπές συγκόλλησης.



3.3.1.2.3.Χημική Διαδικασία Σε Σπασμένα ΦΒ Κύτταρα

Τα σπασμένα φωτοβολταϊκά κύτταρα ή τμήματά τους τα παίρνουμε από την νέα αυτόματη θερμική διαδικασία ή από την τρέχουσα θερμική διαδικασία που καταστρέφονται-σπάνε κατά λάθος. Εισέρχονται σε ένα μηχάνημα χημικής διεργασίας όπου εκεί βρίσκεται το χημικό διάλυμα και απομακρύνει την επιμετάλλωση, την αντι-ανακλαστική επικάλυψη και τις n-p επιστρώσεις, αφήνοντας καθαρές βάσεις πυριτίου, οι οποίες στη συνέχεια εξέρχονται από το μηχάνημα σε μορφή κόκκου/πούδρας πυριτίου, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί στην ανάπτυξη νέων ράβδων πυριτίου με την διαδικασία της κρυσταλοποίησης (βλ. 2^ο κεφάλαιο) .



μηχάνημα χημικής διεργασίας



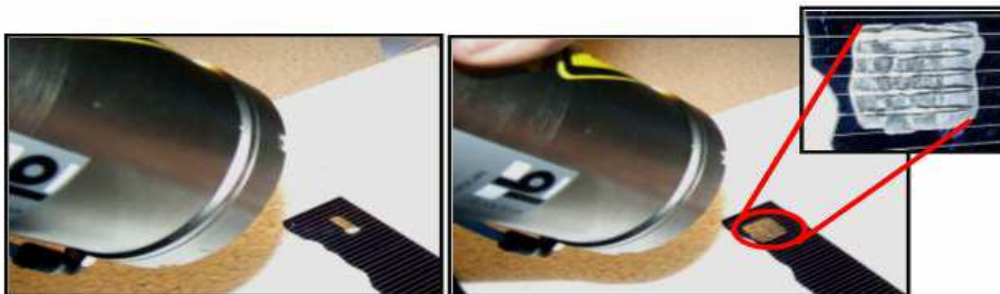
κόκκοι ή πούδρα πυριτίου

3.3.1.2.2.Η εφαρμογή της τεχνικής λέιζερ για καθαρισμό κυτταρικής επιφανείας ΦΒ

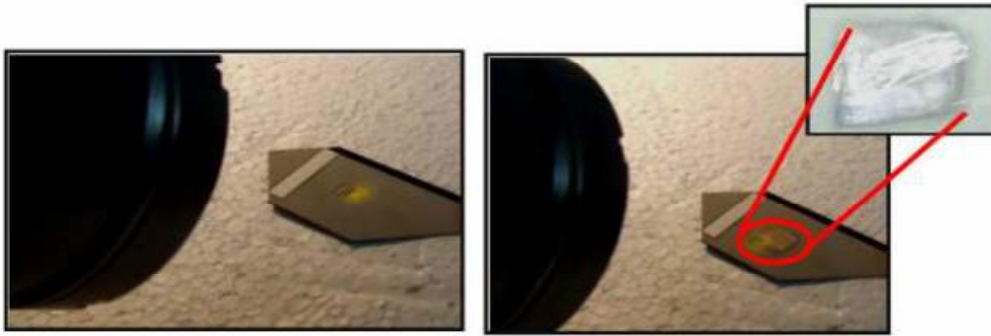
Η εφαρμογή της τεχνικής λέιζερ για καθαρισμό κυτταρικής επιφανείας ΦΒ ισχύει και για τα ολόκληρα και σπασμένα μονο-και πολυκρυσταλλικά φωτοβολταϊκά κύτταρα.

Η χρήση του λέιζερ νεοδυμίου έχει ώθηση (Μήκος κύματος $\lambda=1064$ nm) Nd: YAG (ύττριο-αλουμίνιο-γρανάτης), συχνότητας έως 120 Hz, ενέργεια της δέσμης των 300 mJ ανά ώθηση, με 10 ns μεγάλες παρορμήσεις.

Ήταν δυνατό να αφαιρέσετε το αλουμινίου επιμετάλλωση κάτω και η αντιανακλαστική επίστρωση από τις φωτοβολταϊκές κυψέλες.



αφαιρώντας το στρώμα arc των φωτοβολταϊκών κυττάρων χρησιμοποιώντας τεχνολογία λέιζερ



αφαίρεση του πίσω επιμετάλλωση από τα κύτταρα pv, χρησιμοποιώντας τεχνολογία λέιζερ

Συγκρίνοντας τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται, προσδιορίστηκε ότι η χημική επεξεργασία είναι πολύ πιο συμφέρουσα. Λόγω της υψηλής τιμής της μεθόδου λέιζερ και η χαμηλή αποτελεσματικότητα, είναι απαραίτητη την περαιτέρω βελτίωση και τη βελτιστοποίηση χημικών μεθόδων για την απομάκρυνση των ανεπιθύμητων στρωμάτων από φωτοβολταϊκές κυψέλες. Μια αναμενόμενη ώρα της αφαίρεσης στρωμάτων με τη χρήση της μεθόδου λέιζερ είναι περίπου 1 min/cm².

3.3.2.B) ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Εσωτερική ανακύκλωση είναι η ανακύκλωση που πραγματοποιεί κάθε εταιρία με την επαναχρησιμοποίηση των πρώτων υλών της.

Το πυριτίου που ανακυκλώνεται και ξαναχρησιμοποιείται στην εσωτερική ανακύκλωση συμπεριλαμβάνει:

- τα κομμάτια πολύ-σιλικόνης (Poly Silicon) και τις ράβδους πυριτίου που απορρίπτονται από τη βιομηχανία. Τα κομμάτια αυτά απορρίπτονται από τη βιομηχανία γιατί δεν πληρούν τις σωστές προδιαγραφές, οπότε συλλέγονται και καθαρίζονται με στόχο την επαναχρησιμοποίησή τους στην παραγωγή νέων κρυσταλλικών ράβδων πυριτίου.
- καθώς και τις ακμές, τις κορυφές και τους πυθμένες των πλινθωμάτων που «περισσεύουν» κατά την διαδικασία παραγωγής κρυσταλλικών ράβδων πυριτίου και της κοπής τους.



Συνήθως 10-20 mm αποκόπτεται από τις πλευρές της ράβδου. Οι ακαθαρσίες με χαμηλές αναλογίες βρίσκονται στην κορυφή της ράβδου, και η συγκέντρωση των ακαθαρσιών με υψηλές αναλογίες βρίσκονται στο κάτω μέρος της ράβδου. Ως αποτέλεσμα, η κορυφή της ράβδου να είναι εξαιρετικά μολυσμένη με ακαθαρσίες, όπως SiC, Si₃N₄, βόριο, φώσφορο, σίδηρο, αλουμίνιο, κλπ.

Ενώ το κάτω μέρος και οι πλευρές ανακυκλώνονται εσωτερικά, για να χρησιμοποιηθούν ξανά στη διαδικασία στερεοποίησης, το άνω μέρος (top-cut)

πωλείται στη βιομηχανία σιδήρου και χάλυβα. Ένα σημαντικό ποσό του πυριτίου χάνεται με αυτόν τον τρόπο.

Οι εργασίες για την ανακύκλωση top-cut θραύσματα πυριτίου με διήθηση έχει πραγματοποιηθεί πρόσφατα. Η τεχνολογία της διήθησης είναι εγκατεστημένη σε βιομηχανίες αλουμινίου και χάλυβα για την απομάκρυνση επιβλαβών εγκλείσματα. Top-cut θραύσματα πυρίτιο τήκεται σε κλίβανο υψηλής κενού σε περίπου 1500 °C.

Τα φίλτρα, από την εμπορική τους παραγωγή, είναι C και το SiC με 10, 20 και 30 ppri (πόρους ανά ίντσα). Η Διήθηση με τέτοια κεραμικά φίλτρα αφρού έχει αποδειχθεί ότι είναι πολύ αποτελεσματική (περίπου 97%) για την απομάκρυνση του SiC και Si₃N₄. Σχεδόν όλα τα εγκλείσματα μεγαλύτερα από 10 μm, μπορεί να αφαιρεθούν μέσω αυτής της τεχνικής.

Τα Si₃N₄ σωματίδια βρίσκονται κυρίως στην επάνω επιφάνεια του φίλτρου, μια διαδικασία που ονομάζεται «διήθηση πίτας», ενώ τα τεμαχίδια SiC κυρίως απομακρύνθηκαν με την είσοδο στους πόρους και συνδέθηκαν με το υλικό του φίλτρου, που ονομάζεται "βαθιά διήθηση κρεβάτι".

3.3.3. Γ) ΤΑ Si-ΑΠΟΒΛΗΤΑ

Στα si-απόβλητα εντάσσονται οι σπασμένες γκοφρέτες (wafer) πυριτίου, οι γκοφρέτες με εκπομπούς και αντι-ανακλαστικές επιστρώσεις καθώς και τα σπασμένα ηλιακά κύτταρα (cell).



οι σπασμένες γκοφρέτες



σπασμένα ηλιακά κύτταρα και γκοφρέτες με εκπομπούς και αντι-ανακλαστικές επιστρώσεις

Τα si-απόβλητα τα μετατρέπουμε σε κόκκους πυριτίου. Πρώτα απομακύνουμε τις επιστρώσεις από αυτά με την χημική διαδικασία και στη συνέχεια τα συνθλίβουμε μετατρέποντας τα έτσι σε κόκκους καθαρού πυριτίου που είναι έτοιμοι για την δημιουργία νέων κρυσταλλικών ράβδων με την διαδικασία της κρυσταλλοποίησης.



κόκκοι καθαρού πυριτίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο – ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Εισαγωγή

Επί του παρόντος, υπάρχουν δύο μεγάλες ομάδες ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών: τα κρυσταλλικά και λεπτής μεμβράνης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρομαι στην ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών μονάδων. Πιο συγκεκριμένα στην ανακύκλωση γυαλιού, μετάλλου, αλουμινίου και κορδελών των κρυσταλλικών (c-Si) φωτοβολταϊκών μονάδων, εκτός από το πυρίτιο που έχω ήδη αναφέρει στο 3^ο κεφάλαιο. Για μονάδες με κρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα η ανασύσταση του πυριτίου, των μετάλλων και του γυαλιού είναι ιδιαίτερα σημαντικές.

Στη συνέχεια αναφέρω την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών μονάδων λεπτού υμενίου (thin film), πιο συγκεκριμένα στην ανακύκλωση των ημιαγωγικών υποστρωμάτων τους με διάφορες διαδικασίες (καταβύθισης μετάλλων ιοντοανταλλαγή, αντίστροφη όσμωση, εκχύλιση με διαλύτη και ηλεκτροαπόθεση).

Στο τέλος του κεφαλαίου αναφέρω ποιες εταιρίες ασχολούνται με την ανακύκλωση Thin Film Μονάδες CDTE & CIS και αναλύω τις μεθόδους που χρησιμοποιούν. Για την τεχνολογία thin-film τα βασικά υλικά υψηλής αξίας είναι τα μέταλλα, συμπεριλαμβανομένου του τελλούριο και του ίνδιου.

4.1. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ ΠΥΡΙΤΙΟΥ (c-Si)

Ενώ το ηλιακό κύτταρο είναι η καρδιά ενός φωτοβολταϊκού συστήματος, το ποσοστό αυτό είναι μόνο ένα μικρό κλάσμα του συνόλου των υλικών που απαιτούνται για να παραχθεί ένα ηλιακό πάνελ.

Το εξωτερικό γυάλινο κάλυμμα αποτελεί το μεγαλύτερο μερίδιο της συνολικής μάζας ενός τελικού πάνελ κρυσταλλικού πυριτίου (περίπου 65%), ακολουθούμενη από το πλαίσιο αλουμινίου (~20%), το βινυλεστέρα encapsulant αιθυλεστέρα (~7,5%), το φθοριούχο πολυβινύλιο υποστρώματος (~2,5%), και το κουτί σύνδεσης (1%). Τα ηλιακά κύτταρα αντιπροσωπεύουν μόνο περίπου τέσσερις τοις εκατό (4%) της μάζας ενός τελικού module.



Ενώ οι μέθοδοι ανακύκλωσης διαφέρουν ανάλογα με τον κατασκευαστή, τα πιο συχνά ανακυκλωθέντα συστατικά των φωτοβολταϊκών μονάδων πυριτίου (c-si) είναι το γυάλινο κάλυμμα, το πλαίσιο αλουμινίου και τα ηλιακά κύτταρα. Μικρές ποσότητες πολύτιμων μετάλλων συμπεριλαμβανομένου του χαλκού και του χάλυβα, επίσης αποδίδονται. Η ρητίνη αιθυλενίου οξικού βινυλίου (EVA) και το λεπτό στρώμα πολυβινυλοφθοριδίου (tedlar), συνήθως δεν αποδίδονται και

απομακρύνονται μέσω μιας θερμικής διαδικασίας με αυστηρούς ελέγχους των εκπομπών και το παραπροϊόντων.

Μετά τη διαδικασία αυτή, το γυαλί και το frame αλουμινίου διαχωρίζονται και συνήθως πωλούνται σε βιομηχανίες ανακύκλωσης.

Τα ηλιακά κύτταρα στη συνέχεια ανακτώνται και πωλούνται εκ νέου σε γκοφρέτες πυριτίου με πολύτιμα μέταλλα. Ανάλογα με την κατάσταση, η γκοφρέτα μπορεί τότε είτε να ανακατασκευαστεί σε ένα κελί λειτουργίας ή σε κόκκους για να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη για το νέο πολύ-πυριτίο (βλ. 3^ο κεφάλαιο).

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τα δύο ανακυκλωθέντα υλικά των κρυσταλλικών φωτοβολταϊκών μονάδων πυριτίου, το γυαλί και τα μέταλλα [τα πλαίσια (frame) αλουμινίου και τα σύρματα (ribbon και wire) από τα ηλιακά κύτταρα (cell)].

4.1.1.ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΓΥΑΛΙΟΥ

Οι κρυσταλλικές φωτοβολταϊκές μονάδες πυριτίου αποτελούνται από 80% γυαλί, ενώ οι thin film από 90% γυαλί. Έτσι με την ανακύκλωση του θα έχουμε πολλά οικονομικά και περιβαλλοντικά ωφέλει. Η εταιρία Reiling έχει μεγάλη εμπειρία στην ανακύκλωση γυαλιού.

Το γυαλί συλλέγεται από τον τεμαχισμό (με σφυρί ή με τα χέρια ή την θερμική διαδικασία) των φωτοβολταϊκών μονάδων και στέλνεται σε βιομηχανίες ανακύκλωσης γυαλιού όπου το επεξεργάζονται με την διαδικασία επίπεδης γραμμής ανακύκλωσης γυαλιού (float process).

Η επίπεδη γυάλινη επιφάνεια κατασκευάζεται από πρώτες ύλες, όπως άμμο και ανθρακικό νάτριο, αλλά και από ανακυκλωμένο γυαλί, δηλαδή «σκόνη γυαλιού ή κρύσταλλου». Η ανάμιξη του ανακυκλωμένου γυαλιού με τις πρώτες ύλες επιτρέπει τη μείωση των εκπομπών CO₂ και συμβάλλει στη μεγαλύτερη βιωσιμότητα του προϊόντος.

Κύρια στάδια της παραγωγής επίπεδου γυαλιού με την διαδικασία επίπεδης γραμμής ανακύκλωσης γυαλιού (float process).

- 1) Άμμος, ασβεστόλιθος, σόδα, δολομίτη, οξείδιο του σιδήρου και αλάτι αναμειγνύονται με θραυσμάτων γυαλιού στο εργοστάσιο.
- 2) Οι πρώτες ύλες στη συνέχεια τοποθετούνται σε ένα μεγάλο κλίβανο και τήκονται στους 1600 °C, δημιουργώντας έτσι το τηγμένο γυαλί.



- 3) Μια συνεχής ταινία τηγμένου γυαλιού τροφοδοτείται έξω από την κάμινο τήξης πάνω στην επιφάνεια ενός «κλειστού λουτρού» τετηγμένου κασσιτέρου στους 1100°C. Το τηγμένο γυαλί επιπλέει κυριολεκτικά στην κορυφή του κασσιτέρου, και καθώς ρέει κατά μήκος της επιφάνειας του λουτρού κασσιτέρου μακριά από το

κανάλι διανομής σχηματίζει μια ταινία ομοιόμορφου πάχους. Το πάχος ελέγχεται από την ταχύτητα με την οποία η γυάλινη ταινία απομακρύνεται από το λουτρό.



4) Το γυαλί στη συνέχεια ανυψώνεται από το λουτρό κασιτέρου επάνω σε κυλίνδρους στο κλίβανο απόπτωσης, που πρέπει να κρυσώσει. Σε αυτό το στάδιο οι εσωτερικές πιέσεις απελευθερώνονται εξασφαλίζοντας έτσι τέλεια επιπεδότητα.



5) Αφού κρυσώσει και στερεοποιηθεί το γυαλί πηγαίνει στην περιοχή κοπής, όπου κόβεται σε ένα μεγάλο φύλλο «jumbo μεγέθους» (6 × 3,21 μ.) ή «cut-μέγεθος» που είναι ειδικά για τις παραγγελίες των πελατών, πριν να στοιβαχτούν για τη μεταφορά.

Η διαδικασία float παράγει φύλλα γυαλιού με ένα ομοιόμορφο πάχος και απόλυτα λείες επιφάνειες που δεν χρειάζονται περαιτέρω λείανση ή στίλβωση. Το προκύπτον γυαλί στη συνέχεια να υποστεί περαιτέρω κατεργασία με διάφορους τρόπους για να ενσωματώσει μία ή περισσότερες από τις προηγμένες τεχνολογίες που εφαρμόζονται για επίπεδη ύαλο σήμερα, ανάλογα με το τελικό προϊόν και την εφαρμογή για την οποία προορίζεται.

4.1.2. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

4.1.2.1. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ FRAME ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Τα frame (περίβλημα, πλαίσιο) αλουμινίου αφαιρούνται χειροκίνητα και πολύ προσεκτικά από τις φωτοβολταϊκές μονάδες, είναι η πρώτη κίνηση που γίνεται στην αποσυναρμολόγηση των φωτοβολταϊκών μονάδων.

Ύστερα συλλέγονται και στέλνονται σε βιομηχανίες ανακύκλωσης αλουμινίου με σκοπό την δημιουργία νέων frame ή άλλων προϊόντων από αλουμίνιο.



4.1.2.2.ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ RIBBON ΚΑΙ WIRE

Τα ribbon και wire, πιο συγκεκριμένα ribbon tabbing ή PV ribbon και ribbon bussing ή wire bus, είναι υψηλής αγωγιμότητας ταινίες χαλκού που βρίσκονται στα ηλιακά κύτταρα.

Αυτές συλλέγονται από την θερμική διαδικασία όπου και στέλνονται σε βιομηχανίες ανακύκλωσης χαλκού για την δημιουργία νέων υλικών.



4.2. ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ THIN FILM ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΜΟΝΑΔΩΝ

Οι thin film (λεπτού υμενίου) φωτοβολταϊκές μονάδες που υπάρχουν είναι η a-Si(άμορφου πυριτίου), η CIGS ή CIS (χαλκού ινδίου γαλλίου σεληνιούχου) και η CdTe (τελλουριούχου κάδμιου), από τις οποίες η CIGS ή CIS και η CdTe ανακυκλώνονται μέχρι σήμερα. Υλικά ημιαγωγών thin film που εξετάζονται για επαναχρησιμοποίηση είναι: ίνδιο (In), γάλλιο (Ga), κάδμιο (Cd), τελλούριο (Te), θειούχο κάδμιο (CdS).

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των thin-film από τις διαδικασίες ανακύκλωσης είναι αμελητέες, σε σύγκριση με τις διαδικασίες παραγωγής και είναι λογικό να συμπεράνουμε ότι η ανακύκλωση τέτοιων μονάδων θα οδηγήσει σε λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Η αιχφόρο ανακύκλωση φωτοβολταϊκών λεπτού υμενίου (CdTe και CIS) βασίζεται σε υγρές μηχανικές διαδικασίες ώστε να μειώσει την ποσότητα των χημικών ουσιών που χρησιμοποιούνται για τη συμβατική ανακύκλωση και την ποσότητα των αποβλήτων.

Η διαδικασία ανακύκλωσης τους γενικά είναι:

- A-Si: Επί του παρόντος δεν υπάρχει βιβλιογραφία που εξηγεί τη διαδικασία ανακύκλωσης άμορφου πυριτίου thin film.

- CIGS ή CIS: Μια διαδικασία τήξης ή όξυνα λουτρά για την ανακτήσει των μετάλλων, όπως το σελήνιο (Se), ίνδιο (In) και γάλλιο (Ga). Και το γυαλί υποβάλλεται σε επεξεργασία μέσω θερμικής αποσύνθεσης, διαλύτη ή όξινης διάλυσης για να αφαιρέσετε τυχόν εναπομείναντα στρώματα PV και ανακτάται.

- CdTe: Ανακυκλώνονται με τη χρήση ενός συνδυασμού μηχανικών και χημικών σταδίων διαδικασίας, χημική απογύμνωση των μετάλλων και EVA και διαδοχικά βήματα ηλεκτροαπόθεση, καθίζηση και εξάτμιση για να διαχωρίσει και ανακτήσει το κάδμιο μετάλλων και τελλούριο, η EVA είναι το αποκορυφωμένο από το χημικό διάλυμα για πιθανή επαναχρησιμοποίηση και το γυαλί και πλαίσιο ανακτώνται .

4.2.1.ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ THIN FILM

Τα κύρια βήματα και στις δύο στρατηγικές είναι: καταστροφή του ελάσματος, ο διαχωρισμός του ημιαγωγού από το γυάλινο υπόστρωμα, εμπλουτισμό του υλικού ημιαγωγών, επαναχρησιμοποίηση του ανακυκλωμένου ημιαγωγού για την παραγωγή λεπτού υμενίου.

Οι βραχυπρόθεσμες ανάγκες μπορούν να καλυφθούν είτε με Συγκεντρωτική ή Αποκεντρωμένη προσέγγιση, ενώ μελλοντικά, μεγάλης κλίμακας ανάγκες θα εξυπηρετούνται πιο οικονομικά από Συγκεντρωτικές Στρατηγικές.

4.2.1.1.Συγκεντρωτική Στρατηγική Ανακύκλωσης Thin Film

Στις Συγκεντρωτικές Στρατηγικές η ανακύκλωση γίνεται σε μεγάλα χυτήρια. Αυτή η διαδικασία δεν γίνεται μόνο στις κρυσταλλικές φωτοβολταϊκές μονάδες αλλά και στις μονάδες λεπτού υμενίου. Το CdTe και το CIS πάνελ μπορεί να αντιμετωπιστεί σε χυτήρια χαλκού.

Τα πλήρης φωτοβολταϊκά μπορούν να αποσυναρμολογηθούν με θερμική διαδικασία. Έρευνες για θερμική διάλυση διεξήχθησαν σε κομμάτια των μονάδων σε ένα κλίβανο εργαστηριακής κλίμακας, όπου αρχικά με θερμική διεργασία απομακρύνεται το οξικό βινύλιο του αιθυλενίου (EVA) και τα πλαστικά, τα οποία εξατμίζονται και στη συνέχεια οι άνοδοι κλιβάνου συλλέγουν τετηγμένο χαλκό, γυαλί και τα μέταλλα.

Το μπροστινό γυαλί μπορεί τότε να αφαιρεθεί και να συλλεχτεί για ανακύκλωση ενώ το υλικό ημιαγωγού θα υποστούν χημική επεξεργασία.

Οι άνοδοι επεξεργασία στο διυλιστήριο του χαλκού θα ανακτήσουν ηλεκτρολυτικά το μεταλλουργικό τελλούριο και το σελήνιο. Τα μέταλλα επαφής (π.χ. Al) συσσωρεύονται στο διάλυμα και απομακρύνονται στον καθαρισμό και στην ανάκτηση οξύ-φάσεις. Το κάδμιο δεν διαλύεται στο λιωμένο χαλκό, αλλά παραμένει στη ροή των αποβλήτων του χυτηρίου χαλκού.

4.2.1.2.Αποκεντρωμένη (Decentralized) Στρατηγική Ανακύκλωσης Thin Film

Ο διαχωρισμός των επικίνδυνων μετάλλων από γυαλί και μεταλλικό πλαίσιο μπορεί να επιτύχει μείωση των επικίνδυνων αποβλήτων σε τρεις τάξεις μεγέθους. Σε μικρής κλίμακας επιχειρήσεις, τα μέταλλα μπορούν να απογυμνώνονται από το γυαλί και το πλαστικό με φυσικές (π.χ. σφυρί μύλος, αμμοβολή, πυρόλυση) ή χημικές μεθόδους.

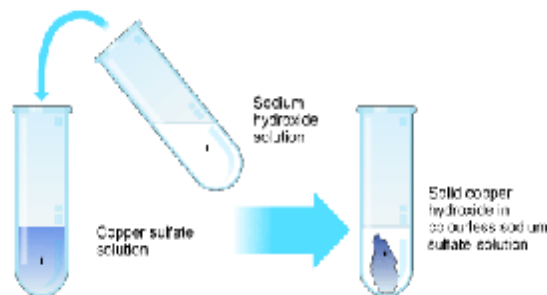
Η χημική απογύμνωση χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους διαλύτες (π.χ. οξέα, οξειδωτικά), είναι ο πιο αποτελεσματικός τρόπος ανακτήσεις του μετάλλου μεταγενέστερα.

Το μέταλλο-περιέχον υγρό μπορεί να κατεργαστεί με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

1) Με την παραδοσιακή **μέθοδο της κατακρήμνισης μετάλλων**, όπως την υδροξείδια. Όπου συλλέγεται η επικίνδυνη λάσπη και στέλνεται σε μια επικίνδυνη χωματερή ή σε ένα χαλυβουργείο.

Διαδικασία Υδροξείδιας μεταπτώσεως/καταβύθισης μετάλλων

Τα Υδροξείδια μεταπτώσεως/καταβύθισης μετάλλων είναι αδιάλυτα στο νερό. Εάν ένα διάλυμα οποιασδήποτε διαλυτής ενώσεως μετάλλου αναμιγνύεται με διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου, τότε υπάρχει αντίδραση μετατόπισης. Το νάτριο είναι το περισσότερο αντιδραστικό μέταλλο, και μετατοπίζει το μέταλλο μεταπτώσεως από την ένωση του. Το υδροξείδιο μετάλλου μεταπτώσεως παράγεται ως αποτέλεσμα. Δεδομένου ότι αυτό είναι αδιάλυτο στο νερό εμφανίζεται σαν ένα στερεό στο υγρό. Ένα στερεό που παράγεται σε ένα υγρό με τον τρόπο αυτό ονομάζεται ίζημα .



Το χρώμα του ιζήματος υποδεικνύει ποιο ιόν μετάλλου μετάπτωσης ήταν στο αρχικό διάλυμα.



2) Με τις **μεθόδους για τη συγκέντρωση μετάλλων** στο διάλυμα και ανακύκλωση του διαλύματος εντός του εργοστασίου με μεθόδους όπως Α)ιοντοανταλλαγή, Β) αντίστροφη όσμωση, και Γ) εκχύλιση με διαλύτη.

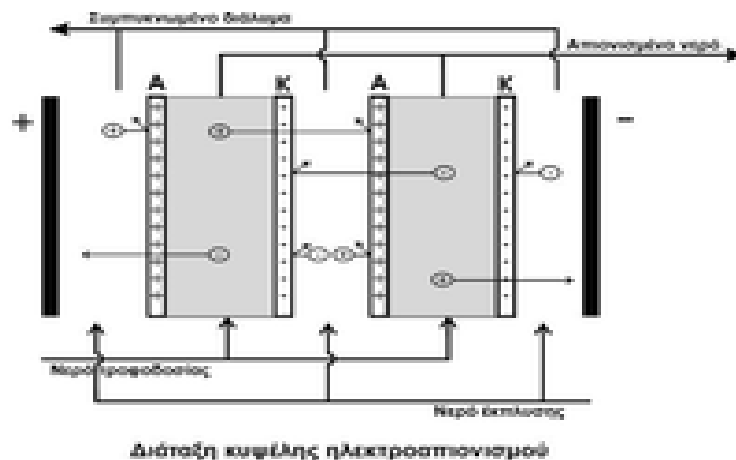
Α) Διαδικασία ιοντοανταλλαγής

Ο **ηλεκτροαπιονισμός** (electrodeionization) είναι μια ηλεκτροχημική διεργασία απομάκρυνσης ιόντων ή ιοντογενών ουσιών από το νερό ή άλλα υγρά που χρησιμοποιεί ηλεκτρικά ενεργά μέσα (ιοντοανταλλακτικές μεμβράνες και ρητίνες) και ένα ηλεκτρικό δυναμικό για να προκαλέσει μεταφορά ιόντων. Σ' αντίθεση με τον χωρητικό απιονισμό (capacitive deionization) ο ηλεκτροαπιονισμός είναι μια συνεχής διεργασία που δεν απαιτεί εναλλασσόμενα στάδια φόρτισης – εκφόρτισης – εκπλυσης των ηλεκτροδίων. Η τεχνολογία συνδυάζει συγχρόνως δύο βασικές διεργασίες: την

ηλεκτροδιαπίδυση ή ηλεκτροδιάλυση (*electrodialysis*) και την ιοντοανταλλαγή αποφεύγοντας το βασικό μειονέκτημα της ηλεκτροδιαπίδυσης λόγω του φαινομένου της πόλωσης συγκέντρωσης (*concentration polarization*) και εκμεταλλευόμενη το πλεονέκτημα της ιοντοανταλλαγής. Για το λόγο αυτό ορισμένες φορές αναφέρεται και ως ηλεκτροδιαπίδυση πληρωμένης κυψέλης (*filled cell electro dialysis*).

Η συσκευή ηλεκτροαπιονισμού είναι μια διάταξη ηλεκτρόλυσης αποτελούμενη από εναλλασσόμενα διαμερίσματα συγκέντρωσης και αραιώσης ιόντων τα οποία διαχωρίζονται μεταξύ τους με εναλλασσόμενες ανιοντοδιαπερατές (A) και κατιοντοδιαπερατές (K) μεμβράνες. Στα διαμερίσματα αραιώσης τοποθετούνται οι ιοντοανταλλακτικές ρητίνες μικτής ή διαχωρισμένης κλίνης. Το προς καθαρισμό νερό διοχετεύεται κάθετα προς το εφαρμοζόμενο ηλεκτρικό πεδίο, όπου λόγω της ιοντοανταλλαγής με ρητίνες συγκρατούνται όλα τα ιόντα. Το εξερχόμενο απιονισμένο νερό παρουσιάζει ηλεκτρική αγωγιμότητα $< 10^{-6} \text{S/m}$.

Εξ' αιτίας του ηλεκτρικού πεδίου τα αρχικά συγκρατούμενα από τις ρητίνες κατιόντα και ανιόντα κινούνται προς τα ηλεκτρόδια της καθόδου και της ανόδου αντίστοιχα. Έτσι, διαπερνούν τις μεμβράνες αντιθέτου φορτίου δηλ. τις κατιοντοδιαπερατές και τις ανιοντοπερατές, αλλά όχι τις μεμβράνες ομοίου φορτίου δηλ. τις ανιοντοδιαπερατές και κατιοντοδιαπερατές αντίστοιχα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται αύξηση της συγκέντρωσης και εγκλωβισμός των ιόντων στα διαμερίσματα συγκέντρωσης. Επιπρόσθετα, με την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου λαμβάνει χώρα και διάσταση των μορίων του νερού στα ιόντα του H^+ και OH^- τα οποία εκτοπίζουν τα άλλα κατιόντα και ανιόντα από τις ρητίνες αντίστοιχα. Κατά συνέπεια, δημιουργείται μια συνεχής λειτουργία αυτοαναγέννησης των ιοντοανταλλακτικών ρητινών χωρίς χρήση χημικών.



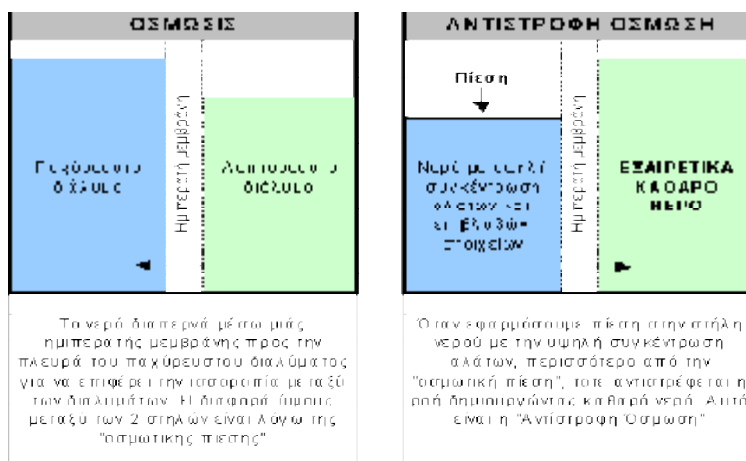
B) Διαδικασία όσμωσης & αντίστροφης όσμωσης

Όσμωση είναι το φαινόμενο, κατά το οποίο κάποιο υγρό ρέει μέσα από μια ημιπερατή μεμβράνη, η οποία δεν επιτρέπει την μεταφορά αλάτων ή άλλων διαλυμένων ουσιών από μέσα της.

Όταν δύο όγκοι υγρών διαφορετικής πυκνότητας διαχωριστούν από μια ημιπερατή μεμβράνη, το υγρό με τη μικρότερη πυκνότητα θα ρέει προς την μεριά αυτού με τη μεγαλύτερη πυκνότητα. Η ανεπιθύμητη αυτή ροή μπορεί να αποφευχθεί αν ασκηθεί εξωτερική πίεση από την πλευρά του πυκνότερου υγρού. Σε αυτήν την περίπτωση, λέμε ότι έχουμε το φαινόμενο της αντίστροφης όσμωσης. Η μέθοδος αυτή

χρησιμοποιείται πολύ συχνά για καθαρισμό του νερού από άλατα και άλλες διαλυμένες ουσίες, καθώς και για βιομηχανικούς και χημικούς λόγους, όπου η καθαρότητα του νερού παίζει πολύ σημαντικό ρόλο.

Στην πράξη το επιβαρυσμένο ακατέργαστο νερό με τη βοήθεια αντλίας διέρχεται από τη μεμβράνη, καθαρίζεται και ταυτόχρονα αποβάλλεται ποσότητα επιβαρυσμένου νερού.



Γ) Διαδικασία εκχύλισης με διαλύτη-Καθαρισμός του μεταλλοφόρου διαλύματος

Μία άλλη πιο σύγχρονη τεχνική καθαρισμού του μεταλλοφόρου διαλύματος είναι με την χρήση οργανικών διαλυτών γνωστή ως εξαγωγή με οργανικό διαλύτη. Το μεταλλοφόρο διάλυμα έρχεται σε επαφή με μία οργανική φάση, η οποία περιέχει κάποιο οργανικό οξύ RH (ή άλλη οργανική ένωση) με μεγάλη ικανότητα δημιουργίας οργανομεταλλικών συμπλόκων και πολύ μικρή διαλυτότητα στο νερό. Το μέταλλο έστω ενώνεται με τον οργανικό διαλύτη και περνάει στην οργανική φάση (φόρτιση)

Κατόπιν η μεταλλοφόρος οργανική φάση έρχεται σε επαφή με ένα καθαρό υδατικό διάλυμα κατάλληλης οξύτητας, ώστε να αποδεσμευτεί το μέταλλο από την οργανική φάση και να μεταφερθεί στο καθαρό διάλυμα και να αναγεννηθεί ο οργανικός διαλύτης (αποφόρτιση).

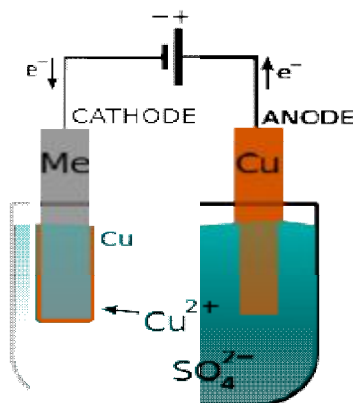
3) Με ηλεκτροχημικές μεθόδους για την άμεση ανάκτηση μετάλλων (π.χ. ηλεκτροεναπόθεσης).

Διαδικασία ηλεκτροαπόθεσης

Η Ηλεκτροαπόθεση (electrodeposition) ονομάζεται η διαδικασία που χρησιμοποιείται στην Ηλεκτρόλυση (Electroplating). Η Ηλεκτρόλυση είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιεί ηλεκτρικό ρεύμα για να μειώσει το διαλυμένο μέταλλο κατιόντων, έτσι ώστε να σχηματιστεί μία συνεκτική μεταλλική επιστρώση σε ένα ηλεκτρόδιο.

Η άνοδος και κάθοδος στην ηλεκτρόλυση συνδέονται και οι δύο με μία εξωτερική παροχή συνεχούς ρεύματος - μια μπαταρία ή, συχνότερα, ένα ανορθωτή.

Η άνοδος συνδέεται με το θετικό ακροδέκτη της παροχής, και η κάθοδος συνδέεται στον αρνητικό ακροδέκτη. Όταν η εξωτερική τροφοδοσία ρεύματος είναι ενεργοποιημένη, το μέταλλο στην άνοδο οξειδώνεται από τη κατάσταση μηδέν σθένους, για να σχηματίσει κατιόντα με ένα θετικό φορτίο. Αυτά τα κατιόντα συνδέονται με τα ανιόντα στο διάλυμα.



ηλεκτρολυτικής ενός μετάλλου (me) με το χαλκό σε ένα λουτρό θειικού χαλκού

Συμπεράσματα της Αποκεντρωμένη Στρατηγική Ανακύκλωσης Thin Film

Η πιο κοινή μέθοδος είναι η υδροξείδια καταβύθιση (hydroxide precipitation) δεδομένου ότι τα περισσότερα μέταλλα μπορούν να καθιζάνουν σε αλκαλικό PH. Ωστόσο, η διαδικασία πρέπει να βελτιστοποιηθεί για πλήρη και επιλεκτική καθίζηση.

Στο μεταξύ οι τεχνικές με το διάλυμα συγκέντρωσης και ανταλλαγής ιόντων χρησιμοποιείται ευρέως και μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματική, αλλά είναι πιο ακριβή από όλες τις καθίζησης.

Η Ηλεκτροαπόθεση (electrodeposition) πραγματοποιείται περιστασιακά για το κάδμιο. Και οι δύο τεχνικές χημικής καθίζησης και ηλεκτροαπόθεσης είναι δυνητικά κατάλληλες για το διαχωρισμό κάδμιο /τελλούριο και χαλκού/ινδίου /σεληνίου αλλά πρέπει να βελτιστοποιηθούν για να είναι πλήρως αποτελεσματικές.

Ο καθαρισμός του μεταλλοφόρου διαλύματος με κατακρήμνιση των ακαθαρσιών γίνεται επίσης σε αναδευόμενες δεξαμενές, ενώ τα κατακρημνίσματα απομακρύνονται με πυκνωτές και διηθητήρες. Ειδικές μικρές ορθογώνιες δεξαμενές χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό με οργανικούς διαλύτες, ενώ για τον καθαρισμό με ιοντοεναλλακτικές ρητίνες χρησιμοποιούνται κλειστές δεξαμενές με το διάλυμα να διέρχεται μέσα από στρώμα ρητίνης.

4.2.1.3.Εταιρίες Που Χρησιμοποιούν Αποκεντρωμένες Στρατηγικές Ανακύκλωσης Σε Thin Film Μονάδες CDTE & CIS

1) Η **Solar Cells Inc (SSI)** βασίζονται σε υδρομεταλλουργικές αρχές. Η SSI ανέπτυξε μια λειτουργία για την εκ νέου ανακύκλωση μονάδων CdTe, η οποία ξεκινά με την αποσυναρμολόγηση της μονάδας και την ανάκτηση του μολύβδινων συρμάτων. Στη συνέχεια, η μονάδα συνθλίβεται σε σφυρί-μύλο. Μέρη της μονάδας του (π.χ. αναρτήσεις, επικαλυμμένο γυαλί και το μεγαλύτερο μέρος του EVA) διαχωρίζονται σε διαφορετικούς χρόνους κατά τη διάρκεια της διαδικασίας άλεσης.

Το θρυμματισμένο γυαλί απογυμνώνεται από τα μέταλλα σε διαδοχικά βήματα της χημικής διάλυσης, με μηχανικό διαχωρισμό και κατακρήμνιση ή ηλεκτροαπόθεση. Στο τέλος οι αναρτήσεις, το γυαλί και η EVA ανακτώνται πλήρως.

Η SSI χρησιμοποιεί θειικό οξύ (H_2SO_4) για τον διαχωρισμό, το οποίο δεν δημιουργεί αναθυμιάσεις. Η διαδικασία θραύσης / άλεσης της SSI μετατρέπει όλα τα υλικά σε ξηρή μορφή.

Η ανάκτηση του τελλουρίου είναι 80% ή και περισσότερη, και μπορεί να πωληθεί ως εμπορική τάξη 99,7% Te. Τα υπόλοιπα μέταλλα (π.χ. Cd, Te, Sn, Ni, Al, Cu) που μένουν είναι πλούσια στο κάδμιο. Σήμερα αυτά αποστέλλονται στη INMETCO όπου το κάδμιο (Cd) ανακτάται και τελικά χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για μπαταρίες/ συσσωρευτές νικελίου-καδμίου (NiCd).

2) Η **Drinkard Metalox Inc (DMI)**, βασίζεται σε υδρομεταλλουργικές αρχές. Ανέπτυξε δραστηριότητες για ανακύκλωση CdTe και CIS μονάδες. Οι δραστηριότητές τους συμπεριλαμβάνουν χημική απογύμνωση των μετάλλων και EVA, αποβουτύρωση (skimming) του EVA από το διάλυμα, και τα διαδοχικά στάδια της ηλεκτροεναπόθεσης (electrodeposition), κατακρήμνισης/καθίζησης (precipitation) και εξάτμισης για το διαχωρισμό και την ανάκτηση των μετάλλων.

Η DMI χρησιμοποιεί νιτρικό οξύ (HNO_3) για το διαχωρισμό, το οποίο δημιουργεί οξύ αναθυμιάσεις, οι οποίες μπορούν να ελεγχθούν. Το HNO_3 είναι ο ισχυρότερος διαλύτης και η χρήση του επιτρέπει την πλήρη και ανέπαφη απογύμνωση των μονάδων, εάν είναι απαραίτητο. Και τέλος η υγρή μέθοδο DMI ανακάμπτει τα υλικά ως λάσπη χωρίς να ξεραίνεται τίποτα.

Η DMI ανακτά το 95% από το τελλούριο (Te) και το 96% από το Pb από CdTe μονάδες.

3) Η **Firstsolar**, η οποία προμηθεύεται CdTe μονάδες, βασίζεται επίσης σε διαδικασία σύνθλιψης.

Οι μονάδες τοποθετούνται σε ένα καταστροφέα εγγράφων, όπου εκεί θα μειώσει το μέγεθος των σωματιδίων και θα σπάσει το γυαλί σε μεγάλα κομμάτια και ύστερα στέλνονται σε ένα σφυρί-μύλο για να συντρίψει το σπασμένο γυαλί σε κομμάτια 4-5 mm και έτσι θα σπάσει ο δεσμός πλαστικοποίησης.

Οι μεμβράνες ημιαγωγών απομακρύνονται με την προσθήκη θειικού οξέος και υπεροξειδίου του υδρογόνου σε ένα αργά περιστρεφόμενο τύμπανο ανοξειδωτού χάλυβα.

Ύστερα το περιεχόμενο του τυμπάνου εκπλύσεως αδειάζει σε ένα ταξινομητή, όπου το γυαλί διαχωρίζεται από τα υγρά μέταλλα, τα οποία κινούνται επί της μονάδας καταβύθισης.

Οι ενώσεις μετάλλου συγκεντρώνονται σε μια δεξαμενή πάχυνσης και καθιζάνουν σε τρία στάδια PH, όπου στην καθίζηση για των διαχωρισμό των μεταλλικών συστατικών χρησιμοποιείται υδροξείδιο του νατρίου. Από το φίλτρο προκύπτει ένα μείγμα υγρού μετάλλου και υαλόθραυσματος, το οποίο ακολουθεί περαιτέρω επεξεργασία από τρίτους για να διαχωριστούν τα διάφορα υλικά συστατικά ώστε να χρησιμοποιηθούν σε νέες μονάδες.

Μέσω μιας δονούμενης οθόνης γίνεται ο διαχωρισμός του γυαλιού και των υλικών έλασματος. Το γυαλί εκεί διαχωρίζεται από τα μεγαλύτερα κομμάτια του αιθυλενίου οξικού βινυλίου (EVA).

Τέλος το Γυαλί ξεβγάλετε για να απομακρυνθούν τυχόν υπολείμματα υλικών ημιαγωγών και φυσικά παραμένει καθαρό γυαλί.

Η διαδικασία ανακύκλωσης της First Solar έχει σχεδιαστεί για να ανακυκλώσει έως περίπου το 95% του ημιαγωγίμου υλικού για χρήση σε νέες μονάδες και περίπου το 90% του γυαλιού για χρήση σε νέα προϊόντα από γυαλί.

4) Η Chemie Loser είναι μια χημική εταιρεία που κάνει τεράστια πρόοδο στον τομέα της ανακύκλωσης φωτοβολταϊκών. Η εταιρεία έχει κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για μεθόδους χημικής ανακύκλωσης για CIS ή CIGS, CdTe ή GaAs ηλιακών κυψελών λεπτών υμενίων, με ιδιαίτερη έμφαση στην καθαριότητα των ανακτώμενων υλικών και διαχωρισμός των ημιαγωγών.

Τα διάφορα είδη των ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται σε λεπτού υμενίου φωτοβολταϊκά δεν μπορούν να διαχωρίζονται φυσικά, αλλά πρέπει να αντιμετωπίζονται με χημικά λουτρά για διάλυση.

Μέσα από μηχανική καταπόνηση τα πλαστικά συστατικά διαχωρίζονται από τα άλλα συστατικά των ηλιακών κυττάρων και τα δύο κλάσματα μπορούν να αντιμετωπιστούν με υδρομεταλλουργικές μεθόδους.

Η χημική εκχύλιση λειτουργεί σε θερμοκρασία δωματίου. Το αποτέλεσμα είναι ένα υψηλής καθαρότητας γυάλινο υπόστρωμα, το οποίο μπορεί να ενσωματωθεί και πάλι μέσα στο κύκλο υψηλής ποιότητας επίπεδης παραγωγής γυαλιού χωρίς συμβιβασμούς. Επίσης, τα πλαστικά μπορεί να επαναχρησιμοποιηθούν, και το διάλυμα άλατος μετάλλου μπορεί να κατεργαστεί με συμβατικές μεθόδους για την επαναχρησιμοποίησή του.

5) Η Saperatec, αναφέρει ότι η μέθοδος που χρησιμοποιεί είναι διαφορετική από τις υπόλοιπες εταιρίες και εφαρμόζεται ήδη σε μονάδες λεπτού υμενίου, καθώς και στην ανάπτυξη για την c-Si. Η μέθοδος λειτουργεί με γαλακτώματα, με βάση επιφανειοδραστικές ουσίες που διαχωρίζουν σύνθετα υλικά. Δεν υπάρχει καμία χημική μετατροπή. Για παράδειγμα, κατά τη διαδικασία της ανακύκλωσης του CdTe μονάδων, όχι μόνο τα μέταλλα που ανακτώνται είναι υψηλής ποιότητας, αλλά επίσης και τα πλαστικά που αποφλοιώθηκαν.

Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοστεί για την ανακύκλωση των απορριμμάτων της παραγωγής, (εάν οι περαιτέρω διαδικασίες προεπεξεργασίας εφαρμόζονται πριν από τη διαδικασία) και την ανακύκλωση των μονάδων στο τέλος του κύκλου ζωής τους.

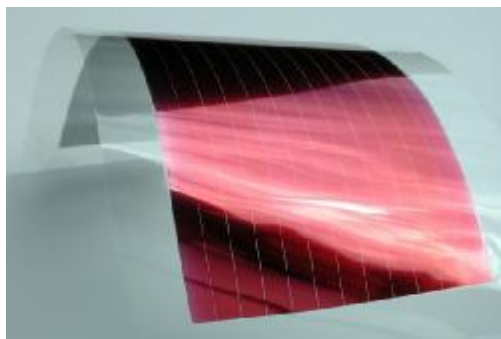
4.3.Μελλοντικές Εξελίξεις Στην Ανακύκλωση Φωτοβολταϊκών Πλαισίων

Οι μελλοντικές εκροές από την τρέχουσα έρευνα ανάπτυξης, τις δοκιμαστικές προσπάθειες στα φωτοβολταϊκά πάνελς και οι νέες τεχνικές ανακύκλωσης είναι δύσκολο να γίνουν προσβάσιμες. Φωτοβολταϊκά χωρίς συγκολλήσεις με μόλυβδο έχουν αναπτυχθεί. Πιθανές μελλοντικές φωτοβολταϊκές τεχνολογίες που αυτήν την στιγμή βρίσκονται στην φάση της ανάπτυξης είναι:

- i) Ευαισθητοποιημένες με βαφή ηλιακές κυψέλες
- ii) Οργανικές ηλιακές κυψέλες
- iii) Υβριδικές κυψέλες

Ενώ τα ευαισθητοποιημένα με βαφή ηλιακά κελιά εκπέμπουν ηλεκτρόνια από, για παράδειγμα, διοξείδιο του τιτανίου επικαλυμμένο από ήλιο-απορροφητική χρωστική, οι οργανικές ηλιακές κυψέλες είναι φτιαγμένες από βιοδιασπώμενα υλικά, ως εκ τούτου εισάγουν τον κίνδυνο της διάσπασης των υλικών και της αστάθειας. Οι υβριδικές κυψέλες οι οποίες συνδυάζουν ένα μεγάλο εύρος τεχνολογιών που βρίσκονται σήμερα στην αγορά μπορούν να επεξεργαστούν με τις μεθόδους που ακολουθούνται αυτήν την στιγμή για τους διάφορους τύπους τεχνολογιών.

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα ηλιακό module από οργανικές ηλιακές κυψέλες. Τα εύκαμπτα ηλιακά κύτταρα είναι τόσο λεπτά όσο μια σελίδα βιβλίου ενώ μπορούν να τοποθετηθούν πάνω σε λεπτού υμενίου γεγονός που τις καθιστά φθηνές στην παραγωγή.



ΠΗΓΕΣ

<http://www.solar-systems.gr/solar-panel-pv-4.html> (31/3/13)
www.solar-systems.gr (22/3/13)
<http://www.fotovoltaika.gr/solar-systems-information.html> (22/3/13)
<http://www.logistics.tuc.gr/Contents/Diatrives/Argiropoulou.pdf> (22/3/12)
<http://www.solar-systems.gr/solar-panel-pv-5.html> (22/3/13)
http://www.anp.gr/category/58/%CF%86%CE%B2-%CE%BC%CE%B5-%CE%B1%CF%80%CE%BB%CE%B1-%Chttp://www.tsampco.gr/fotovoltaika_parka.html (30/3/13)
http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_tracker (27/3/13)
<http://www.solar-systems.gr/solar-panel-pv-1.html> (22/3/13)
<http://www.solar-systems.gr/E%BB%CE%BF%CE%B3%CE%B9%CE%B1.html> (22/3/13)
http://www.zeroenergybuildings.org/2012/12/10_8037.html (23/3/13)
<http://www.econews.gr/2012/03/27/3d-fotovoltaika-mit/> (26/2/13)
<http://www.logistics.tuc.gr/Contents/Diatrives/Argiropoulou.pdf> (22/3/13)
http://vivliothmyy.ee.auth.gr/32/1/samoladas_bipv.pdf (23/3/13)
<http://evilionsystems.blogspot.gr/2012/09/sic-si.html> (27/9/13)
<http://www.sntonline.com/pages/zone.cgi?a=60614> (17/6/13)
<http://www.solarworld-usa.com/solar-for-home/solar-101/making-solar-panels/crystal-growing.aspx> (14/3/13)
<http://www.elecnetsolar.gr/xrisima/texnika/texnia-fotovoltaika-susthmata/> (28/2/13)
<http://www.solarworld-usa.com/solar-for-home/solar-101/making-solar-panels/wafering.aspx> (14/3/13)
http://kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/alternative/pv_cell.htm (26/2/13)
<http://www.solarworld-usa.com/solar-for-home/solar-101/making-solar-panels/solar-cell-production.aspx> (14/3/13)
http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php#bookmark1 (26/2/13)
<http://www.solarworld-usa.com/solar-for-home/solar-101/making-solar-panels/solar-panel-assembly.aspx> (14/3/13)
<http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/5767/577802.pdf?sequence=1> (13/9/13)
<http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:123654/FULLTEXT01.pdf> (6/7/13)
<http://poseidonsolar.com/our-services.html> (20/4/13)
http://www.solarnovus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=3770:pvc-recycling-the-need-to-be-double-green-&catid=63:business-features&Itemid=242 (14/6/13)
<http://www.solarworld.co.za/en/press/visual-material/production/> (25/4/13)
<http://invenio.lib.auth.gr/record/132148/files/Diplomatiki%20Pilichos.pdf> (21/5/13)
http://www.bnl.gov/pv/files/PRS_Agenda/3_4_PV-Module-RecyclingWambach.pdf (21/5/13)
<http://2011.solarteam.org/news/recycling-methods-for-used-photovoltaic-panels> (16/5/13)
<http://isc-konstanz.de/fileadmin/1/doc/DRESDEN-BOMBACH%20et%20al..pdf> (18/4/13)
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148109005199> (15/4/13)
[http://tchie.uni.opole.pl/freeECE/S_17_3/RadziemskaOstrowski_17\(S3\).pdf](http://tchie.uni.opole.pl/freeECE/S_17_3/RadziemskaOstrowski_17(S3).pdf) (21/7/13)
<http://www.oregon.gov/ODOT/HWY/OIPP/docs/life-cyclehealthandsafetyconcerns.pdf> (15/6/13)
<http://www.glassforeurope.com/en/industry/float-process.php> (14/6/13)

http://www.bbc.co.uk/schools/gcsebitesize/science/add_ocr_21c/natural_environment/hydrosphererev4.shtml (1/7/13)

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%B1%CF%80%CE%B9%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82> (16/7/13)

<http://sikam.wordpress.com/2008/01/11/%CE%91%CF%86%CE%B1%CE%BB%CE%AC%CF%84%CF%89%CF%83%CE%B7-%CE%91%CE%BD%CF%84%CE%AF%CF%83%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%86%CE%B7-%CE%9F%CF%83%CE%BC%CF%89%CF%83%CE%B7/> (13/7/13)

http://www.interexperts.gr/Osmosis_questions.htm (20/7/13)

<http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B4%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%B3%CE%AF%CE%B1> (13/7/13)

<http://en.wikipedia.org/wiki/Electroplating> (3/7/13)

http://www.bnl.gov/pv/abs/abs_142.asp (10/6/13)

http://www.google.gr/url?sa=t&rct=j&q=ribbon%20recycling%20module%20pv%20cell&source=web&cd=7&cad=rja&ved=0CGYQFjAG&url=http%3A%2F%2Fwww.degruyter.com%2Fdg%2Fviewarticle.fullcontentlink%3Apdfeventlink%2F%24002fj%24002fcdem.2012.17.issue-1-2%24002fcdem-2013-0008%24002fcdem-2013-0008.xml%3Ft%3Aac%3Dj%24002fcdem.2012.17.issue-1-2%24002fcdem-2013-0008%24002fcdem-2013-0008.xml&ei=pju_UbGUOsnEsgbz54HgDw&usq=AFQjCNGpOu9CRlaTNKDQKffRd_-PbbT94A&bvm=bv.47883778,d.Yms (17/6/13)

http://www.solarnovus.com/index.php?option=com_content&view=article&id=6363:pvc-recycling-update-on-legal-and-technology-issues&catid=38:application-tech-features&Itemid=246 (10/6/13)

ΠΗΓΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

εικόνα 1.1.

<http://e-build.gr/2011/06/02/%CE%B4%CE%B5%CE%BD-%CE%B1%CF%80%CE%BF%CF%84%CE%B5%CE%BB%CE%BF%CF%8D%CE%BD-%CF%84%CE%B5%CE%BA%CE%BC%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BF-%CF%84%CE%B1-%CF%86%CE%B2-%CF%83%CF%84%CE%B9%CF%82-%CF%83%CF%84%CE%AD%CE%B3/> (23/3/13)

εικόνα 1.2.

<http://www.bigsolar.gr/el/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-%CF%83%CF%85%CF%83%CF%84%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1/%CF%86%CF%89%CF%84%CE%BF%CE%B2%CE%BF%CE%BB%CF%84%CE%B1%CF%8A%CE%BA%CE%AC-%CF%80%CE%BB%CE%B1%CE%AF%CF%83%CE%B9%CE%B1-panels-c1/panasonic-p2> (23/3/13)

εικόνα 1.3. http://vivliothmyy.ee.auth.gr/32/1/samoladas_bipv.pdf (23/3/13)

εικόνα 1.4. http://www.zeroenergybuildings.org/2012/12/10_8037.html (23/3/13)

εικόνα 1.5. <http://www.econews.gr/2012/03/27/3d-fotovoltaiika-mit/> (26/2/13)

εικόνα 2.1. <http://esolarlogic.com/index.php/yingli-yge-60-yl235p-29b.html> (14/3/13)
εξώφυλλου <http://www.power-technology.com/news/newssolar-press-kroenert-sign-organic-pv-module-manufacturing-deal> (28/9/13)