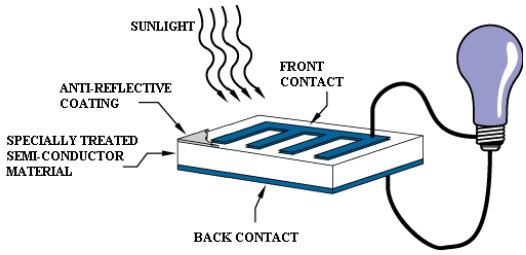
Τεχνολογίες φωτοβολταϊκών πλαισίων

Εύα Παρασκευαδάκη
Ηλεκτρολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Τα Φ/Β συστήματα διεισδύουν ολοένα και περισσότερο στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως. Όσο η τεχνολογία εξελίσσεται οι επιδόσεις τους βελτιώνονται, γεγονός που αποδεικνύεται από την ερευνητική διαδικασία. Υπάρχουν σήμερα στην αγορά πολλοί διαφορετικοί τύποι Φ/Β πλαισίων οι οποίοι ποικίλλουν στα βασικά υλικά, την απόδοση και το κόστος. Γνωρίζοντας κανείς τα χαρακτηριστικά της κάθε τεχνολογίας, μπορεί να επιλέξει τα κατάλληλα Φ/Β πλαίσια για την εκάστοτε εφαρμογή.

I. Τι είναι τα φωτοβολταϊκά?

Ο όρος φωτοβολταϊκά παραπέμπει στο φως, δηλαδή την ηλιακή ακτινοβολία και στα βολτ που είναι συνώνυμο της ηλεκτρικής ενέργειας. Περιγράφει έτσι την διαδικασία μετατροπής της ενέργειας του ήλιου σε μια μορφή άμεσα εκμεταλλεύσιμη από τον άνθρωπο. Η διαδικασία αυτή βασίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο που πρώτος ανακάλυψε ο γάλλος φυσικός E. Becquerel το 1839. Περιληπτικά πρόκειται για την απορρόφηση της ενέργειας του φωτός από τα ηλεκτρόνια των ατόμων του Φ/Β στοιχείου και την απόδραση των ηλεκτρονίων αυτών από τις κανονικές τους θέσεις με αποτέλεσμα την δημιουργία ρεύματος. Το ηλεκτρικό πεδίο που προϋπάρχει στο Φ/Β στοιχείο οδηγεί το ρεύμα στο φορτίο.



Εικόνα 1. Αρχή λειτουργίας του Φ/Β στοιχείου.

Τα Φ/Β συστήματα είναι ήδη ένα σημαντικό μέρος της ζωής μας. Από τις αριθμομηχανές και τα ρολόγια χειρός μέχρι πιο πολύπλοκα συστήματα όπως οι δορυφόροι, έχουν αποδείξει την χρησιμότητά τους.

II. Η καρδιά του Φ/Β συστήματος

Τα Φ/Β στοιχεία είναι διατάξεις που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, φτιαγμένες από ημιαγώγιμα υλικά. Τα μεγέθη και οι μορφές τους διαφοροποιούνται ανάλογα με το υλικό και την εφαρμογή. Συνδέονται μεταξύ τους συνήθως σε σειρά, για να δημιουργήσουν τα Φ/Β πλαίσια, δηλαδή τα ακέραια panels που βλέπουμε στα Φ/Β συστήματα. Τα πλαίσια συνδέονται σε σειρά και παράλληλα, διαμορφώνοντας την Φ/Β συστοιχία.

Το μέγεθος της συστοιχίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που είναι διαθέσιμη στη συγκεκριμένη τοποθεσία καθώς και οι ανάγκες του καταναλωτή.

Τα Φ/Β πλαίσια αποτελούν το σημαντικότερο μέρος ενός Φ/Β συστήματος, το οποίο μπορεί επίσης να περιλαμβάνει τις ηλεκτρικές συνδέσεις, τη δομή στήριξης, τον αντιστροφέα DC/AC και τις

μπαταρίες που αποθηκεύουν τη ηλιακή ενέργεια για χρήση όταν η ηλιακή ακτινοβολία δεν επαρκεί.

III. Υλικά για την κατασκευή των Φ/Β στοιχείων

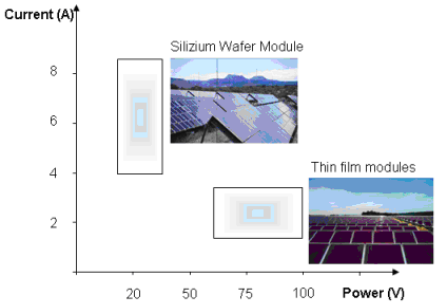
Ενώ όλα τα Φ/Β συστήματα έχουν παρόμοια δομή, υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι Φ/Β στοιχείων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Αυτοί ποικίλλουν στα βασικά υλικά, στην ικανότητα να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια, και στο κόστος. Τα κυριότερα είδη Φ/Β στοιχείων και πλαισίων που βρίσκονται σήμερα στην αγορά είναι τα εξής:

✓ ***Κρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία με βάση το Πυρίτιο***

Το πυρίτιο (Si) είναι η βάση για το 90% περίπου της παγκόσμιας παραγωγής Φ/Β. Η κυριαρχία αυτή οφείλεται αρχικά στην τεράστια παγκόσμια επιστημονική και τεχνική υποδομή για το υλικό αυτό από τη δεκαετία του '60.

Μεγάλες κυβερνητικές και βιομηχανικές επενδύσεις έγιναν σε προγράμματα για τις χημικές και ηλεκτρονικές ιδιότητες του Si, ώστε να δημιουργηθεί ο εξοπλισμός που απαιτείται στα βήματα της επεξεργασίας για την απόκτηση της απαραίτητης καθαρότητας και της κρυσταλλικής δομής του υλικού.

Οι γνώση που προέκυψε έτσι για το πυρίτιο, τα χαρακτηριστικά του και η αφθονία του στη γη, το κατέστησαν ικανό και συμφέρον μέσο για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας. Εντούτοις, λόγω του ότι είναι εύθραυστο, το πυρίτιο απαιτεί τον σχηματισμό στοιχείων σχετικά μεγάλου πάχους. Αυτό σημαίνει ότι μερικά από τα ηλεκτρόνια που απελευθερώνονται μετά την απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας πρέπει να ταξιδέψουν μεγάλες αποστάσεις για να ενταχθούν στην ροή του ρεύματος και να συνεισφέρουν στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Συνεπώς, το υλικό θα πρέπει να έχει υψηλή καθαρότητα και δομική τελειότητα ώστε να αποτρέψει την επιστροφή των ηλεκτρονίων στις φυσικές τους θέσεις.



Εικόνα 2. Ηλεκτρική συμπεριφορά (τάση-ρεύμα) Φ/Β πλαισίων ανάλογα με την τεχνολογία τους.

Οι ατέλειες πρέπει να αποφευχθούν ώστε η ενέργεια του ηλεκτρονίου να μην μετατραπεί σε θερμότητα. Η παραγωγή θερμότητας, που είναι επιθυμητή στις ηλιακά θερμικά πλαίσια, όπου αυτή η θερμότητα μεταφέρεται σε ένα ρευστό, είναι ανεπιθύμητη στα Φ/Β πλαίσια, όπου η ηλιακή ενέργεια θα πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρική.

Το πυρίτιο, ανάλογα με την επεξεργασία του, δίνει μονοκρυσταλλικά, πολυκρυσταλλικά ή άμορφα υλικά, από τα οποία παράγονται τα Φ/Β στοιχεία.

α. Μονοκρυσταλλικά Φ/Β πλαίσια.

Τα μονοκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία χρησιμοποιούν το κρυσταλλικό πυρίτιο. Αυτό παράγεται σε μεγάλα φύλλα που μπορούν να κοπούν σε ένα συγκεκριμένο μέγεθος και να χρησιμοποιηθούν ως στοιχεία σε ένα Φ/Β πλαίσιο. Αγώγιμες μεταλλικές λωρίδες τοποθετούνται πάνω από τα στοιχεία ώστε να συλλέξουν τα ηλεκτρόνια και να δημιουργηθεί το ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτά τα πλαίσια είναι ακριβότερα από τα πολυκρυσταλλικά που θα αναφερθούν στη συνέχεια. Όμως, είναι ιδιαίτερα αποδοτικά και μπορεί κατά συνέπεια να αποτελέσουν την πιο κερδοφόρα επένδυση σε βάθος χρόνου. Η απόδοσή τους κυμαίνεται μεταξύ 12% και 17%. Αυτό σημαίνει ότι το πλαίσιο μπορεί να μετατρέψει το 12-17% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει σε αυτό σε ηλεκτρική. Αξίζει να σημειωθεί ότι η πλειοψηφία των τυποποιημένων μονοκρυσταλλικών πλαισίων που διατίθενται σήμερα έχουν απόδοση μεταξύ 13-16%. Εταιρείες που κατασκευάζουν πλαίσια με απόδοση γύρω στο 17%, αποτελούν μειοψηφία.

β. Πολυκρυσταλλικά Φ/Β πλαίσια.

Τα πολυκρυσταλλικά Φ/Β στοιχεία ήρθαν σαν εξέλιξη των μονοκρυσταλλικών κυρίως λόγω της γρηγορότερης και φθηνότερης παραγωγικής διαδικασίας. Η απόδοση τους είναι μικρότερη, γεγονός το οποίο οφείλεται στην ανομοιογένεια του υλικού. Το ποσοστό απόδοσης των πλαισίων τέτοιου τύπου κυμαίνεται μεταξύ 12% και 14% και έχουν αρκετά χαμηλότερο κόστος από τα μονοκρυσταλλικά πλαίσια.

✓ ***Φ/Β πλαίσια thin film***

Τα λεπτά υλικά είναι ένας τρόπος να μειωθεί το κόστος των Φ/Β πλαισίων και να αυξηθεί η απόδοσή τους. Εκτός από τη χρήση μικρότερης ποσότητας υλικού, ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι ολόκληρα πλαίσια μπορούν να κατασκευαστούν παράλληλα με τη διαδικασία απόθεσης. Αυτό είναι συμφέρον οικονομικά, αλλά επίσης πολύ απαιτητικό τεχνικά, επειδή η επεξεργασία χωρίς ατέλειες αφορά σε μεγαλύτερη επιφάνεια. Στα πλεονεκτήματα που

αναφέρθηκαν θα πρέπει να αντιπαρατεθεί η χαμηλότερη ως τώρα απόδοση τους που περιορίζεται στο 5-10%, ανάλογα με το υλικό. Η τεχνολογία thin film βρίσκεται σε αναπτυσσόμενο στάδιο αφού με διάφορες μεθόδους επεξεργασίας και χρήση διαφορετικών υλικών αναμένεται αύξηση απόδοσης, σταθεροποίηση των χαρακτηριστικών τους και αύξηση της διείσδυσης στην αγορά. Σήμερα πάντως αποτελούν την πιο φθηνή επιλογή Φ/Β πλαισίων.

α. Φ/Β πλαίσια άμορφου πυριτίου.

Τα πλαίσια αυτού του τύπου διαφοροποιούνται από τα προηγούμενα κατά πρώτο λόγο στη δομή, αφού δεν είναι κρυσταλλικά.

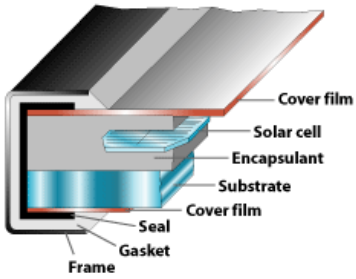
Το μικρό πάχος του υλικού αρχικά δημιούργησε μείωση στην απορρόφηση του φωτός από το άμορφο πυρίτιο. Το πρόβλημα ξεπεράστηκε με την τεχνική της οπτικής ενίσχυσης. Αυτή τη στιγμή στην αγορά υπάρχουν Φ/Β πλαίσια άμορφου πυριτίου με απόδοση 6-8%. Το κύριο πρόβλημα με το άμορφο πυρίτιο είναι η αρχική αλλοίωση των χαρακτηριστικών του με την πρώτη έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία, γεγονός που προσδίδει μια αστάθεια στην ηλεκτρική του συμπεριφορά. Το φαινόμενο αυτό αν και έχει ερευνηθεί αρκετά δεν έχει ακόμα αποσαφηνιστεί πλήρως.

β. Άλλα υλικά

Οι λόγοι που το πυρίτιο είναι ο κυρίαρχος της φωτοβολταϊκής αγοράς μέχρι σήμερα έχουν να κάνουν περισσότερο με τη διαθεσιμότητα του υλικού και της τεχνογνωσίας, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Έτσι η στροφή προς άλλα υλικά, που ίσως με την κατάλληλη επεξεργασία δώσουν αποδοτικότερα και φθηνότερα Φ/Β πλαίσια, είναι πλέον γεγονός.

Σήμερα, υλικά όπως το CIS (copper indium diselenide) με προσθήκη Ga και το CdTe (cadmium telluride) χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία thin film πλαισίων. Το πρώτο δίνει σήμερα Φ/Β πλαίσια με απόδοση περίπου ως 10%. Το υλικό είναι πολλά υποσχόμενο αφού εργαστηριακά έχει επιτευχθεί απόδοση ως 19%. Το CdTe δίνει επίσης Φ/Β πλαίσια με απόδοση 10%, ενώ εργαστηριακά Φ/Β στοιχεία έχουν φτάσει το 16%. Υπάρχουν και χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα συμπυκνωτών, μονοκρυσταλλικά thin film στοιχεία με βάση το GaAs, τα οποία έχουν μεγάλη απόδοση αλλά επίσης μεγάλο κόστος. Η μείωση του κόστους αυτών των Φ/Β στοιχείων θα τα καταστήσει ανταγωνιστικά, δεδομένης της υπεροχής τους όσον αφορά την απόδοση.

IV. Δομές Φ/Β πλαισίων



Εικόνα 3. Δομή Φ/Β πλαισίου.

Τα υλικά που παρουσιάστηκαν συμμετέχουν σε διατάξεις διαφορετικής δομής για την δημιουργία των πλαισίων. Τα πιο συνηθισμένα και ευρύτερα χρησιμοποιούμενα πλαίσια είναι τα flat-plate (επίπεδα και συμπαγή), όπου οι επιστρώσεις υλικών διαδέχονται η μία την άλλη σχηματίζοντας μια συμπαγή κατασκευή. Υπάρχουν παρόλα αυτά και άλλες δομές, οι οποίες διευρύνουν την χρηστικότητα των Φ/Β συστημάτων.

✓ ***Επίπεδα, συμπαγή πλαίσια***

Η κατασκευή τους είναι συμπαγής και το βάρος σχετικά χαμηλό. Η συνήθης δομή ενός συμπαγούς και επίπεδου πλαισίου περιλαμβάνει τα Φ/Β στοιχεία, το υλικό ενθυλάκωσης τους, το αδιαφανές φύλλο κάλυψης του πίσω μέρους, το γυαλί υψηλής μετάδοσης που καλύπτει το εμπρόσθιο μέρος του πλαισίου και τέλος το πλαίσιο από αλουμίνιο που καλύπτει τις πλαϊνές πλευρές, συγκρατεί και προστατεύει τα επιμέρους στοιχεία του Φ/Β πάνελ.

Η ονομαστική ισχύς των επίπεδων κρυσταλλικών πλαισίων κυμαίνεται μεταξύ 10-250 Wp. Μερικοί κατασκευαστές παράγουν πλαίσια με ισχύ εξόδου ως 280 Wp. Τα επίπεδα πλαίσια τεχνολογίας thin film έχουν ισχύ εξόδου ως 100 Wp.

Συνήθως τοποθετούνται με σταθερή κλίση. Υπάρχουν και διατάξεις με τις οποίες τα Φ/Β πλαίσια ακολουθούν την κίνηση του ήλιου, αλλά αυξάνουν δραματικά το κόστος του συστήματος.

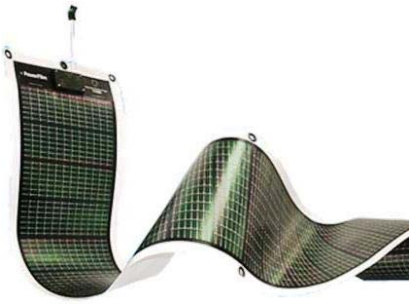
✓ ***Φ/Β πλαίσια ειδικά για ενσωμάτωση σε κτιριακές κατασκευές (BIPV)***

Οι τεχνολογίες BIPV μπορούν να αποτελέσουν, εκτός από πηγές ενέργειας, δομικά στοιχεία του κτιρίου όπου τοποθετούνται. Ακόμα και σε κτίρια σύγχρονου αρχιτεκτονικού σχεδιασμού μπορούν να ενσωματωθούν Φ/Β διατάξεις δημιουργώντας ένα άρτιο αισθητικό αποτέλεσμα. Εκτός από τα flat-plate πλαίσια με την προαναφερθείσα δομή, σε

τέτοιες εφαρμογές εγκαθίστανται και πάνελ με ιδιαίτερο design και επεξεργασία.

Στα glass to glass Φ/Β πλαίσια η λεπτή ταινία Φ/Β υλικού τοποθετείται ανάμεσα σε φύλλα γυαλιού, προσκαλώντας έτσι το φως στο εσωτερικό του κτηρίου καθώς παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.

Ένα άλλο είδος BIPV είναι οι εύκαμπτες Φ/Β μεμβράνες οι οποίες δεν περιέχουν γυαλί στη δομή τους και επικολλούνται σε μονωτικά φύλλα για την κάλυψη ταρατσών.



Εικόνα 4. Εύκαμπτη Φ/Β μεμβράνη.

V. Συμπεράσματα

Τα Φ/Β συστήματα διεισδύουν ολοένα και περισσότερο στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως. Όσο η τεχνολογία εξελίσσεται οι επιδόσεις τους βελτιώνονται, γεγονός που αποδεικνύεται από την ερευνητική διαδικασία αλλά και την συζήτηση που γίνεται για θέματα εγκατάστασης και προστασίας.

Για να εδραιωθούν τα Φ/Β συστήματα ως διεσπαρμένες πηγές ενέργειας, δεν απαιτούνται μόνο τεχνολογικές εξελίξεις αλλά κυρίως κατανόηση των προβλημάτων που επιλύουν και αναγνώριση της συμβολής τους στην ενεργειακή απελευθέρωση από τις συμβατικές πηγές.

VI. Βιβλιογραφία

[1] Περιοδικό *Τεχνική Εκλογή.*

[2] www1.eere.energy.gov/solar