

6. Τύποι φωτοβολταϊκών στοιχείων

Thomas Zimmer, University of Bordeaux, France

Πίνακας περιεχομένων

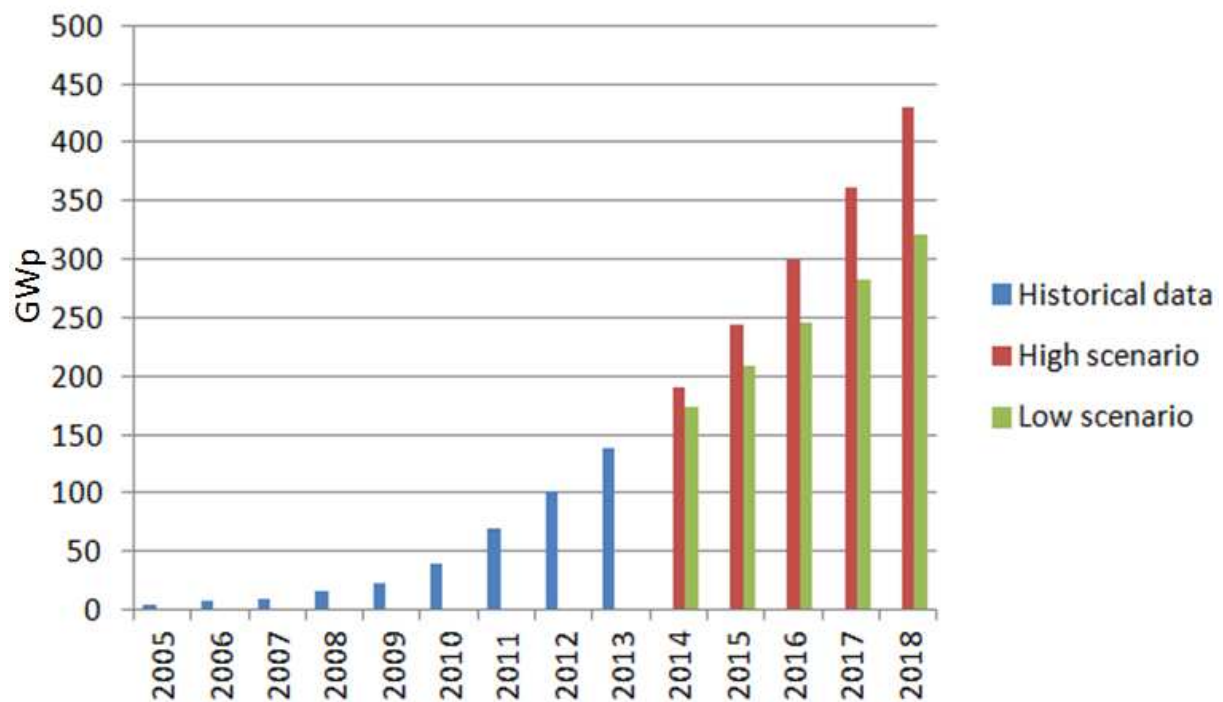
Εισαγωγή	2
Στερεά κρυσταλλοποιημένα υλικά	3
Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο.....	4
Από τα δισκία στο κλασικό ηλιακό στοιχείο	5
Cd-Te στοιχεία λεπτού υμενίου	6
Στοιχεία CIGS λεπτού υμενίου	7
Άμορφα στοιχεία πυριτίου	8
Συζήτηση	9
Παραγωγή	9
Απόδοση ηλιακών φ/β στοιχείων και φ/β πλαισίων	10
Προοπτικές: Αναδυόμενες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών.....	10
Αναφορές	11

Μαθησιακά αποτελέσματα

- Πληροφόρηση σχετικά με την εξέλιξη της παγκόσμιας παραγωγής φ/β
- Κατανόηση των στερεών κρυσταλλοποιημένων υλικών
- Κατανόηση της διαφοράς μεταξύ μονο- και πολυ-κρυσταλλικών φ/β στοιχείων
- Κατανόηση των άμορφων και λεπτού υμενίου υλικών
- Αναγνώριση της δομής των φ/β στοιχείων λεπτού υμενίου, από CdTe και CISG, καθώς και από άμορφο πυρίτιο
- Απόκτηση γνώσεων σχετικά με τις κυριότερες φωτοβολταϊκές τεχνολογίες
- Πληροφόρηση σχετικά με τις αναδυόμενες φωτοβολταϊκές τεχνολογίες

Εισαγωγή

Η εγκατεστημένη παγκόσμια ισχύς φωτοβολταϊκών (PV) θα φτάσει τα 320 με 430 GW ως το τέλος του 2018. Η Εικ. 1 δείχνει συσσωρευτικά σενάρια της φωτοβολταϊκής αγοράς [1]. Το χαμηλότερο υποθέτει πως στις αναδυόμενες χώρες θα αποτύχουν να προωθηθούν, ενώ το υψηλότερο υποθέτει πως θα υπάρξει ισχυρή αγορά στις αναδυόμενες χώρες [2].



Εικ. 1 Τα συσσωρευτικά σενάρια παγκόσμιας παραγωγής PV μέχρι το 2018 (δεδομένα από [1])

Για την παραγωγή των ηλιακών φωτοβολταϊκών πλαισίων, μπορούμε να διακρίνουμε δύο βασικές τεχνολογίες:

- Στερεά κρυσταλλοποιημένα υλικά
- Άμορφα και λεπτού υμενίου

Η πρώτη κατηγορία (Στερεά κρυσταλλοποιημένα υλικά) αντιπροσωπεύει σήμερα περίπου το 90% του μεριδίου της αγοράς, ενώ τα άμορφα και λεπτού υμενίου καλύπτουν το υπόλοιπο 10%, αλλά με αυξητική τάση.

Υπάρχουν επίσης αναδυόμενες τεχνολογίες, όπως:

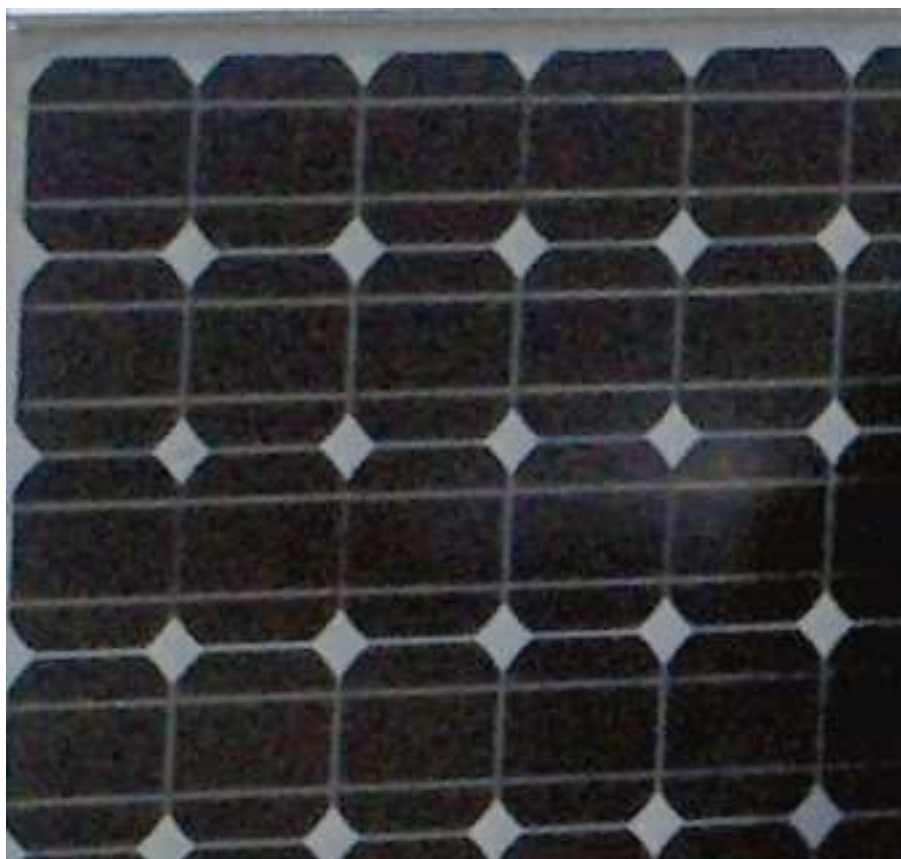
- Grätzel φωτοηλεκτροχημικά ηλιακά στοιχεία
- Οργανικά ηλιακά στοιχεία

Αυτά τα αναδυόμενα φ/β στοιχεία δεν έχουν ακόμη ωριμάσει για μεγάλης κλίμακας παραγωγή και εγκατάσταση, αλλά οι πολλά υποσχόμενες ιδιότητές τους τα καθιστά σοβαρούς υποψήφιους για την αγορά φωτοβολταϊκών στις επόμενες δύο δεκαετίες.

Στερεά κρυσταλλοποιημένα υλικά

Μονοκρυσταλλικό πυρίτιο

Το ηλιακό στοιχείο μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Μono-Si) είναι κατασκευασμένο από ένα μεγάλο ενιαίο κρύσταλλο του καθαρού πυριτίου. Αυτός ο ενιαίος κρύσταλλος είναι τις περισσότερες φορές κατασκευασμένος με τη μέθοδο Czochralski, με τήξη υψηλής καθαρότητας, από πυρίτιο ποιότητας ημιαγωγού, που έχει μόνο μερικά μέρη ανά εκατομμύριο προσμίξεων, σε χωνευτήριο στους 1425 βαθμούς Κελσίου. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας τήξεως, τα άτομα δότη του υλικού πρόσμιξης όπως βόριο (για p-τύπου ημιαγωγούς) ή φωσφόρο (για n-τύπου ημιαγωγούς) προστίθεται στο τετηγμένο πυρίτιο για να το νοθεύσουν - για φ/β στοιχεία η προτιμώμενη ουσία νόθευσης είναι το βόριο. Το δεύτερο βήμα είναι για να βυθίσει ένα γόνιο «σπέρμα» κρυστάλλου τοποθετημένο σε μία ράβδο μέσα στο λειωμένο πυρίτιο. Ο γόνος κρύσταλλος έχει καλά καθορισμένο κρυσταλλικό προσανατολισμό. Στη συνέχεια, η ράβδος του κρυστάλλου με προσοχή τραβιέται έξω ενώ περιστρέφεται ταυτόχρονα. Οι διαβαθμίσεις θερμοκρασίας, ο ρυθμός τραβήγματος και η ταχύτητα περιστροφής θα πρέπει να ελέγχονται με ακριβή τρόπο. Κάτι τέτοιο οδηγεί στην εξαγωγή ενός μεγάλου, μονοκρυσταλλικού πλίνθου από την τήξη. Η διαδικασία τήξης απαιτεί τόσο μια αδρανή ατμόσφαιρα (π.χ. αργού) όσο και ένα αδρανές θάλαμο (π.χ. χαλαζίας). Τα μειονεκτήματα της κλασικής διαδικασίας τήξης είναι η πολύ χαμηλή ταχύτητα και το ενεργειακό κόστος παραγωγής. Επιπλέον, ο πλίνθος πρέπει να πριονιστεί προκειμένου να παραχθεί το λεπτό ηλιακό στοιχείο. Αυτή η διαδικασία είναι και πάλι χρονοβόρα και επιπλέον σπαταλά ένα μεγάλο μέρος του πολύ πολύτιμου υλικού. Μεγάλη ερευνητική προσπάθεια έχει αναλάβει η βιομηχανία φωτοβολταϊκών για τη βελτίωση της διαδικασίας κατασκευής. Η εμφάνιση του Mono-Si γενικά είναι μαύρη (βλέπε Εικ. 2).



Εικ. 2: Στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου

Πολυκρυσταλλικό πυρίτιο

Τα στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου (Poly-Si) είναι παρόμοια με τα μονοκρυσταλλικά. Ισχύει η ίδια θεωρία – η διαφορά βρίσκεται στην διαδικασία κατασκευής. Τα κύτταρα Poly-Si κατασκευάζονται από καθαρό τετηγμένο πυρίτιο σε τετράγωνη δεξαμενή, όπου η ψύξη αποτελεί βήμα ζωτικής σημασίας, διότι καθορίζει το μέγεθος των κόκκων και την κατανομή των ακαθαρσιών. Τα ληφθέντα πλινθώματα κόβονται σε ράβδους με διατομή 15.6 X 15.6 εκατοστά. Τέλος, κόβονται για να πάρουμε λεπτούς δίσκους. Αυτή η διαδικασία κατασκευής δίνει ζωή σε μια πολύκοκκη κρυσταλλική δομή. Σε σύγκριση με τα Mono-Si, η δομή είναι λιγότερο ιδανική, με αποτέλεσμα την απώλεια της αποτελεσματικότητας (από περίπου 1% σε σύγκριση με Mono-Si), αλλά αυτό το μειονέκτημα επισκιάζεται από το χαμηλότερο κόστος των δίσκων [3]. Ένα δεύτερο πλεονέκτημα είναι η διάταξη των στοιχείων, τα οποία είναι συνήθως ορθογώνια και όχι "ψευδο-τετράγωνα" σε σύγκριση με Mono-Si, ώστε να μπορούν να συσκευάζονται πολύ κοντά στις μονάδες. Η εμφάνιση του Poly-Si είναι αισθητά μπλε (Εικ. 3), λόγω της έλλειψης απορρόφησης της υψηλότερης ενέργειας φωτονίων. Στην πραγματικότητα, αυτά τα υψηλής ενέργειας φωτόνια από το άνω τμήμα του ορατού φάσματος αντανακλώνται.



Fig 3: Στοιχεία πολυκρυσταλλικού πυριτίου

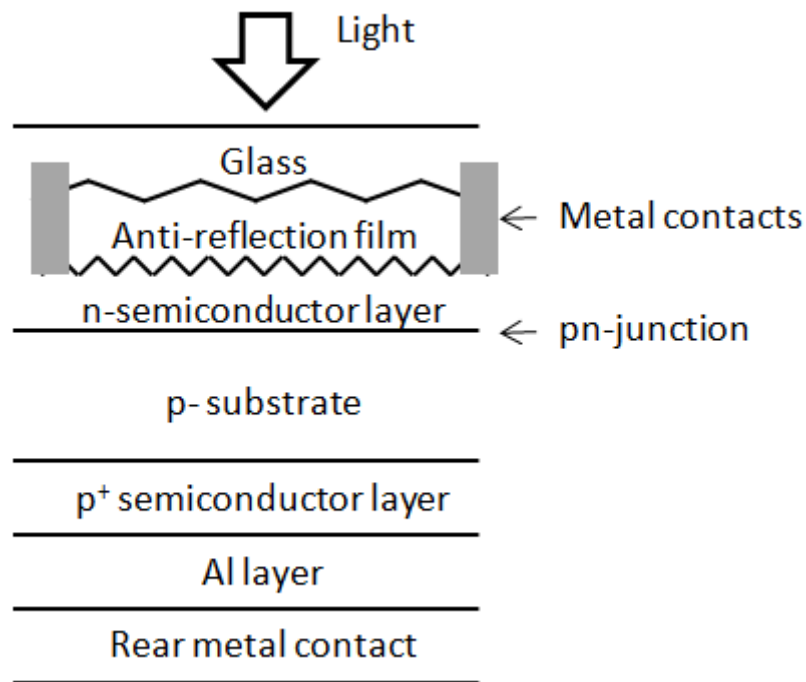
Εν κατακλείδι, υπάρχουν μόνο μικρές διαφορές κατά τη σύγκριση Poly-Si και Mono-Si μονάδων όσον αφορά την απόδοση, την αποτελεσματικότητα και το κόστος. Επιπλέον, άλλα μεγέθη αξίας, όπως είναι η διάρκεια ζωής και εγγύηση, σε γενικές γραμμές είναι πολύ παρόμοια. Ωστόσο, χαρακτηριστικά όπως η διαθεσιμότητα και η φήμη του κατασκευαστή, μπορεί να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο.

Από τα δισκία στο κλασσικό ηλιακό στοιχείο

Μετά την κατασκευή του δίσκου πυριτίου p-τύπου, τα ακόλουθα βήματα είναι αναγκαία για να γίνει ένα λειτουργικό φωτοβολταϊκό στοιχείο [4]:

- Επιφανειακή επεξεργασία έτσι ώστε να καθαρίσει από ατέλειες από τη διαδικασία πριονίσματος
- Επιφανειακή χάραξη με στόχο τη δημιουργία μικρών πυραμίδων στην επιφάνεια για μεγαλύτερη συλλογή φωτονίων (τα φ/β στοιχεία είναι στη συνέχεια λιγότερο ευαίσθητα στον προσανατολισμό)
- Διάχυση του φωσφόρου για να δημιουργήσει την φωτοβολταϊκή p-n επαφή
- Νόθευση (Ντόπινγκ) στην πίσω πλευρά με ένα στρώμα p +
- Η προσθήκη μιας αντι-ανακλαστικής μεμβράνης στην μπροστινή πλευρά
- Σύνδεση της μεταλλικής επαφής μεταξύ του n-στρώματος και του επάνω μέρους
- Η προσθήκη ενός ηλεκτροδίου Al στο πίσω μέρος και την αντίστοιχη μεταλλική οπίσθια επαφή

Η Εικ. 4 δείχνει μια άποψη διατομής ενός ηλιακού στοιχείου Mono-Si:



Εικ. 4: Σχηματική εγκάρσια τομή ενός ηλιακού στοιχείου Mono-Si

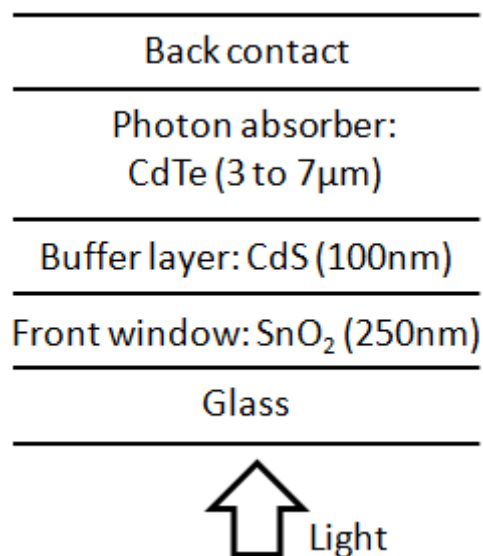
Άμορφα και λεπτού υμενίου υλικά

Τα ηλιακά στοιχεία λεπτού υμενίου, καλούνται συχνά δεύτερης γενιάς ηλιακά στοιχεία [5]. Σε αυτή την κατηγορία εμπίπτουν άμορφα στοιχεία Si, στοιχεία Cd-Te και τα στοιχεία CIGS. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των στοιχείων έγκειται στο γεγονός ότι μόνο πολύ λίγο υλικό απαιτείται για την κατασκευή και οι διαδικασίες παραγωγής είναι συμβατές με μεγάλες επιφάνειες, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε με εύκαμπτα ή άκαμπτα υποστρώματα, με αποτέλεσμα αυτές οι ιδιότητες να οδηγούν σε μια πολύ οικονομική λύση για την παραγωγή ηλιακών στοιχείων. Στην πραγματικότητα, τα ηλιακά στοιχεία λεπτού υμενίου είναι σε θέση να απορροφήσουν φωτόνια πολύ αποτελεσματικά (με ένα έως και 100 φορές υψηλότερο συντελεστή απορρόφησης σε σύγκριση με στοιχεία Mono ή Poly-Si) και κατά συνέπεια, χρειάζονται μόνο μερικά μm πάχους, σε σύγκριση με το κατά προσέγγιση 200 μm πάχος για τα Mono-Si ή Poly-Si, για να απορροφήσουν όλα τα φωτόνια που έχουν ενέργεια μεγαλύτερη από το διάκενο.

Cd-Te στοιχεία λεπτού υμενίου

Τα στοιχεία Cd-Te λεπτού υμενίου έχουν ραγδαία ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, λόγω της ανταγωνιστικότητάς τους από πλευράς κόστους, υψηλής απόδοσης και διαθέσιμων διαδικασιών παραγωγής. Προς το παρόν, τα στοιχεία Cd-Te λεπτού υμενίου πρωτοπορούν στη βιομηχανία φωτοβολταϊκών thin film. Εμπορικά προϊόντα έχουν φτάσει να έχουν απόδοση έως και 12.6% [5]. Το Cd-Te έχει ενεργειακό χάσμα 1.45 eV και ανταποκρίνεται καλά με το ηλιακό φάσμα.

Τεχνικές χαμηλού κόστους έχουν αναπτυχθεί με σκοπό την κατασκευή αυτών των μονάδων. Μια περίληψη των κύριων σταδίων κατασκευής φαίνεται στην Εικ. 5: Μια γυάλινη επιφάνεια καλύπτεται με μια ταινία Sn-O₂ που έχει νοθευθεί με F, που επιτρέπει επαφή με το γυαλί χωρίς να απορροφά πολλά φωτόνια και συλλέγει τα ηλεκτρόνια (δρα ως ένα ηλεκτρόδιο). Στη συνέχεια ακολουθεί ένα στρώμα ρυθμιστικού Cd-S (100 nm). Στη συνέχεια, το δραστικό στρώμα Cd-Te προστίθεται (πάχους 3 έως 7 μm), που ενεργεί ως απορροφητής φωτονίων. Στην πίσω πλευρά, ένα ηλεκτρόδιο επαφής προστίθεται προκειμένου να συλλέξει τις οπές που δημιουργούνται. Η Εικ. 5 δείχνει μια σχηματική τομή του στοιχείου Cd-Te λεπτού υμενίου.



Εικ. 5: Σχηματική εγκάρσια τομή ενός στοιχείου Cd-Te λεπτού υμενίου

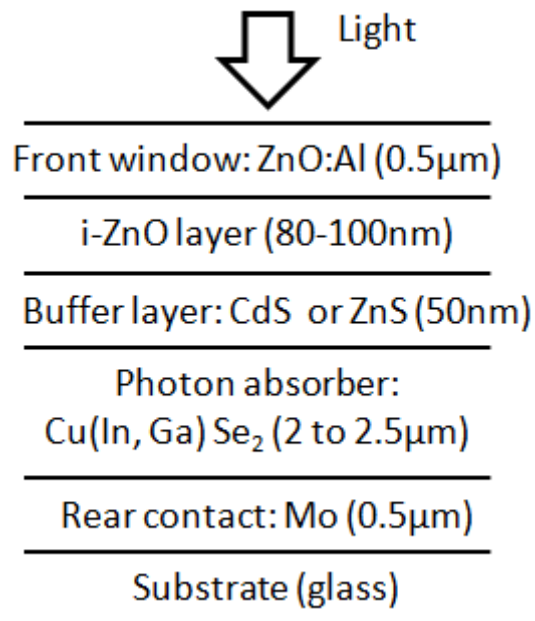
Η υψηλή απόδοση σε συνδυασμό με την ισχυρή δομή και την υψηλή παραγωγή επιτάχυνε την ανάπτυξη των στοιχείων Cd-Te λεπτού υμενίου. Ωστόσο, η χρήση ενός τοξικού υλικού (Cd) απαιτεί κάποια ιδιαίτερη προσοχή κατά την παραγωγή των στοιχείων, καθώς επίσης και κατά τη διάρκεια της φάσης ανακύκλωσης στο τέλος της διάρκειας ζωής τους. Για να απαλλαγούμε από αυτό το τοξικό υλικό, άλλα υλικά λεπτού υμενίου διερευνώνται: Αυτά είναι χαλκός-ίνδιο-σεληνίου-χου γάλλιο (CIGS) και άμορφα στοιχεία πυριτίου.

Στοιχεία CIGS λεπτού υμενίου

Προς το παρόν, στο πλαίσιο των λεπτών υμενίων, η τεχνολογία χαλκού-ίνδιου-σεληνίου-χου γαλλίου (copper indium gallium selenide - CIGS) θεωρείται ως μία από τις πιο ελπιδοφόρες λόγω της υψηλής απόδοσης μετατροπής τους, που έρχεται κοντά στην απόδοση μετατροπής των στοιχείων Poly-Si.

Η Εικ. 6 δείχνει την εγκάρσια τομή ενός στοιχείου CIGS. Ξεκινώντας από την πίσω πλευρά, ένα στρώμα μολυβδαίνιου στοιβάζεται σε ένα γυάλινο υπόστρωμα. Η επόμενη στρώση περιέχει τον απορροφητή φωτονίων που είναι ένα κράμα Cu (In, Ga) Se₂ (δι-σεληνίδιο του χαλκού, ινδίου και γαλλίου). Το πάχος αυτού του στρώματος είναι περίπου 2 μm και

παράγεται με συν-εξάτμιση κάτω από υπερ-υψηλό κενό σε θερμοκρασία υποστρώματος περίπου 550 °C. Η υποκατάσταση του In από Ga επιτρέπει τη ρύθμιση του ενεργειακού χάσματος (μεταξύ 1 eV έως 1.7 eV). Στη συνέχεια, προστίθεται ένα ρυθμιστικό στρώμα n-τύπου από Cd-S ή Zn-S με πάχος περίπου 50 nm. Αυτό βοηθά να βελτιστοποιηθεί η διασύνδεση μεταξύ του CIGS-απορροφητήρα, των ανόθευτων (χωρίς ακαθαρσίες) i-ZnO στρωμάτων και του n-τύπου ανώτερου στρώματος επαφής (ZnO:Al). Τα κορυφαία στρώματα είναι διαφανή, ώστε να αφήσουν όλα τα φωτόνια να περνούν στο στρώμα απορρόφησης.

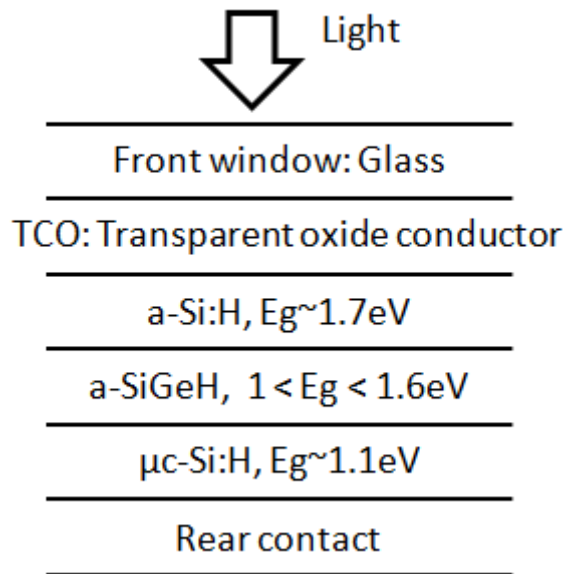


Εικ. 6: Σχηματική εγκάρσια τομή ενός CIGS στοιχείου λεπτού υμενίου

Άμορφα στοιχεία πυριτίου

Τα άμορφα στοιχεία πυριτίου (a-Si) είναι η μη-κρυσταλλική μορφή του πυριτίου. Τα άμορφα πλαίσια πυριτίου κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας τη διαδικασία εναπόθεσης ατμών, δημιουργώντας ένα λεπτό στρώμα υλικού πυριτίου (περίπου 1 μm πάχος) σε ένα υλικό υποστρώματος, όπως γυαλί ή μέταλλο. Το κύριο πλεονέκτημα εδώ είναι η δυνατότητα να εναποτεθεί το άμορφο πυρίτιο σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Η βασική μορφή αποτελείται από μία και μόνο ακολουθία από p-i-n στρωμάτων (Εικ. 7). Τα p-i-n στρώματα χρησιμοποιούνται προκειμένου να δημιουργηθεί ένα ηλεκτρικό πεδίο που βοηθά την κίνηση των μεταφορέων. Στην πραγματικότητα, το άμορφο πυρίτιο έχει πολύ χαμηλή κινητικότητα των περίπου 1 cm²/Vs, ενώ τα κρυσταλλικά Si έχουν μεγαλύτερη από 1000 cm²/Vs [6]. Ένα πολύ γνωστό μειονέκτημα του άμορφου λεπτού υμενίου Si είναι η σημαντική υποβάθμιση της ισχύος στην έξοδό του, όταν εκτίθεται στον ήλιο (στο εύρος 15-35%). Η σταθερότητα μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση λεπτότερων στρωμάτων. Ωστόσο, με κάτι τέτοιο, η απορρόφηση του φωτός και συνεπώς η απόδοση μετατροπής των στοιχείων θα μειωθεί. Μια λύση είναι η χρήση των συσκευών διπλών ή και τριπλών ακόμη στρωμάτων που περιέχουν p-i-n στοιχεία στοιβαγμένα το ένα πάνω από το άλλο. Χωρίζονται με λεπτές σήραγγες (δεν φαίνονται στη σχηματική διατομή, Εικ. 7). Κάθε

στρώμα p-i-n στοιχείων έχει ειδικά πρόσθετα άτομα, προκειμένου να προσαρμοστεί το ενεργειακό χάσμα.



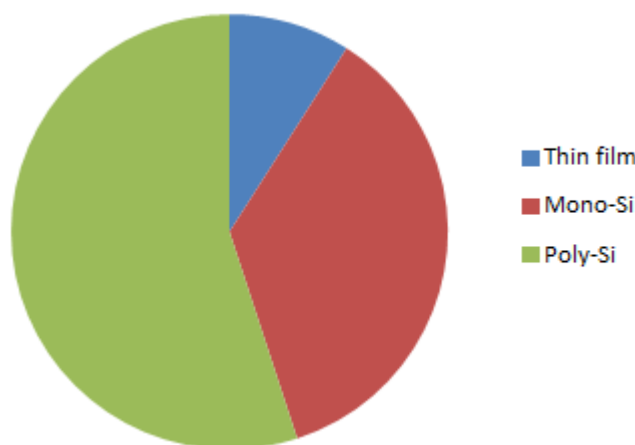
Εικ. 7: Σχηματική εγκάρσια τομή ενός στοιχείου άμορφου πυριτίου λεπτού υμενίου

Συζήτηση

Παρουσιάσθηκαν μέχρι τώρα οι κύριες φωτοβολταϊκές τεχνολογίες που περιλαμβάνουν υλικά στερεών κρυστάλλων, άμορφα και λεπτού υμενίου. Στην ενότητα αυτή, θα συζητηθούν αυτές οι τεχνολογίες από την άποψη της παγκόσμιας παραγωγής και, τέλος, θα παρουσιασθεί η τρέχουσα state-of-the-art του κύριου συντελεστή κέρδους: η απόδοση ενεργειακής μετατροπής.

Παραγωγή

Το 2013, η παγκόσμια ετήσια παραγωγή φωτοβολταϊκών ήταν περίπου 38.7 GWp. Το 9% των κατασκευασμένων φωτοβολταϊκών μονάδων ήταν μονάδες λεπτού υμενίου, το 36% ήταν Mono-Si και το μεγαλύτερο μέρος, δηλαδή το 55%, ήταν Poly-Si. Η Εικ. 8 παρουσιάζει την κατανομή αυτή.



Εικ. 8: Κατανομή της παραγωγής φ/β ανά τεχνολογία το 2013 (δεδομένα από [7]).

Απόδοση ηλιακών φ/β στοιχείων και φ/β πλαισίων

Η εξέλιξη της τεχνολογίας (τέλη 2014) της αποδόσεως μετατροπής των ηλιακών φ/β στοιχείων συνοψίζεται κατωτέρω [7]:

- Η απόδοση ρεκόρ μετατροπής των στοιχείων εντός εργαστηρίου είναι
 - 25 % για μονό-κρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου,
 - 20.4 % για πολύ-κρυσταλλικά στοιχεία πυριτίου,
 - 19.8 % για στοιχεία CIGS λεπτού υμενίου,
 - 19.6 % για στοιχεία Cd-Te λεπτού υμενίου.
- Η απόδοση αυξήθηκε κατά τα τελευταία χρόνια, για το μέσο εμπορικό δισκίο:
 - 12 % έως 16 % για στοιχεία πυριτίου,
 - 9 % έως 13 % για στοιχεία Cd-Te.

Προοπτικές: Αναδυόμενες τεχνολογίες φωτοβολταϊκών

Μια τεράστια ερευνητική προσπάθεια γίνεται πάνω σε νέα υλικά και νέες έννοιες για φωτοβολταϊκά πλαίσια. Εδώ θα αναφερθούν μόνο τα φωτοηλεκτροχημικά ή χρωμό-ευαίσθητοποιημένα ηλιακά στοιχεία Grätzel (DSSC) και τα οργανικά ηλιακά στοιχεία[8].

Τα DSSCs βασίζονται σε έναν ημιαγωγό που σχηματίζεται ανάμεσα σε μία φωτο-ευαίσθητοποιημένη άνοδο και έναν ηλεκτρολύτη. Τα πλεονεκτήματα των ηλιακών στοιχείων DSSC είναι κυρίως το χαμηλό κόστος στην διάρκεια της κατασκευής. Roll-to-roll επεξεργασία είναι δυνατή και η ενσωματωμένη ενέργεια είναι χαμηλή, με λιγότερο από 1 έτος για την ενεργειακή αποπληρωμή. Είναι μη τοξικά, άφθονα υλικά (εκτός από Pt, Ru) και αποδίδουν καλά σε διαφορετικές συνθήκες φωτισμού, όπως η υψηλή γωνία πρόσπτωσης, η χαμηλή ένταση και η μερική σκίαση. Είναι (ή δύναται να είναι) ελαφρύ, ευέλικτο και ημιδιαφανές. Οι κύριες προκλήσεις είναι η βελτίωση της απόδοσης μετατροπής, της σταθερότητας και της αξιοπιστίας.

Ένα οργανικό ηλιακό στοιχείο αποτελείται από πολυμερή. Το εγγενώς οργανικό ηλιακό στοιχείο αποτελείται από δύο στρώματα: ένα δότη ηλεκτρονίων και ένα αποδέκτη ηλεκτρονίων. Όταν ένα φωτόνιο απορροφάται, δημιουργεί ένα δεσμευμένο ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής (ονομάζεται επίσης εξιτόνιο), κυρίως στο υλικό του δότη. Μπορεί να διαχωριστεί όταν το εξιτόνιο διαχέεται στη διεπαφή δότη-δέκτη.

Το υλικό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή των οργανικών ηλιακών στοιχείων αποτελείται από πολυμερή ή, με απλά λόγια, πλαστικό. Το πλαστικό που χρησιμοποιείται έχει χαμηλό κόστος παραγωγής σε μεγάλες ποσότητες, το οποίο αντιπροσωπεύει το κύριο πλεονέκτημα των οργανικών ηλιακών στοιχείων. Επιπλέον, ο συντελεστής οπτικής απορρόφησης των οργανικών μορίων είναι υψηλός, κι έτσι μία μεγάλη ποσότητα του φωτός μπορεί να απορροφηθεί με μικρή ποσότητα υλικών. Τα κύρια μειονεκτήματα είναι η χαμηλή αποδοτικότητα, χαμηλή σταθερότητα και χαμηλή αντοχή σε σύγκριση με ανόργανα

φωτοβολταϊκά στοιχεία. Αλλά η πρόοδος στην έρευνα των οργανικών φωτοβολταϊκών τεχνολογιών έχει φτάσει στο στάδιο της αποτελεσματικότητας με ρεκόρ συσκευής 12% [9] και ζωής σε εξωτερικό χώρο πέρα από το ένα έτος [10]. Ωστόσο, η διάρκεια ζωής των λίγων ετών εξακολουθεί να απαιτείται πριν τα οργανικά φωτοβολταϊκά στοιχεία να μπορέσουν να εισέλθουν αποτελεσματικά στην αγορά.

Αναφορές

- [1] “Global Market Outlook for Photovoltaic 2014-2018”, Editor: Tom Rowe, Principal authors and analysts: Gaëtan Masson (iCARES Consulting), Sinead Orlandi, Manoël Reking, EPIA European Photovoltaic Industry Association, http://www.epia.org/fileadmin/user_upload/Publications/44_epia_gmo_report_ver_17_mr.pdf
- [2] Peter Fairley, “Topaz Turns On 9 Million Solar Panels”, IEEE Spectrum, 01.15
- [3] Electricity from Sunlight: “An Introduction to Photovoltaics” (Hardcover), Paul A. Lynn, John Wiley & Sons, 2010
- [4] Anne Labouret, Michel Viloz, “Energie solaire photovoltaïque”, Dunod, Paris, 2009
- [5] Rémy Mosseri, Catherine Jeandel, “L'énergie à découvert”, CNRS Editions, Paris, 2013
- [6] N Wyrsh, M Goerlitzer, N Beck, J Meier, A Shah, “Transport Properties of Compensated $\mu\text{-Si: H}$ ”, MRS Symp., 1996 - infoscience.epfl.ch
- [7] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, “Photovoltaics Report”, 24 October 2014, <http://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/aktuelles/photovoltaics-report-in-englischer-sprache.pdf>
- [8] Michael Grätzel, “Photoelectrochemical cells”, review article, p338, Nature, Vol. 414, 15 Nov 2001, www.nature.com
- [9] http://www.heliatek.com/newscenter/latest_news/neuer-weltrekord-fur-organische-solarzellen-heliatek-behauptet-sich-mit-12-zelleffizienz-als-technologiefuehrer/?lang=en
- [10] Suren A. Gevorgyan et al. “Interlaboratory outdoor stability studies of flexible roll-to-roll coated organic photovoltaic modules: Stability over 10,000 h”, Solar Energy Materials and Solar Cells, Volume 116, September 2013, Pages 187–196