

# Ηλιακή ενέργεια

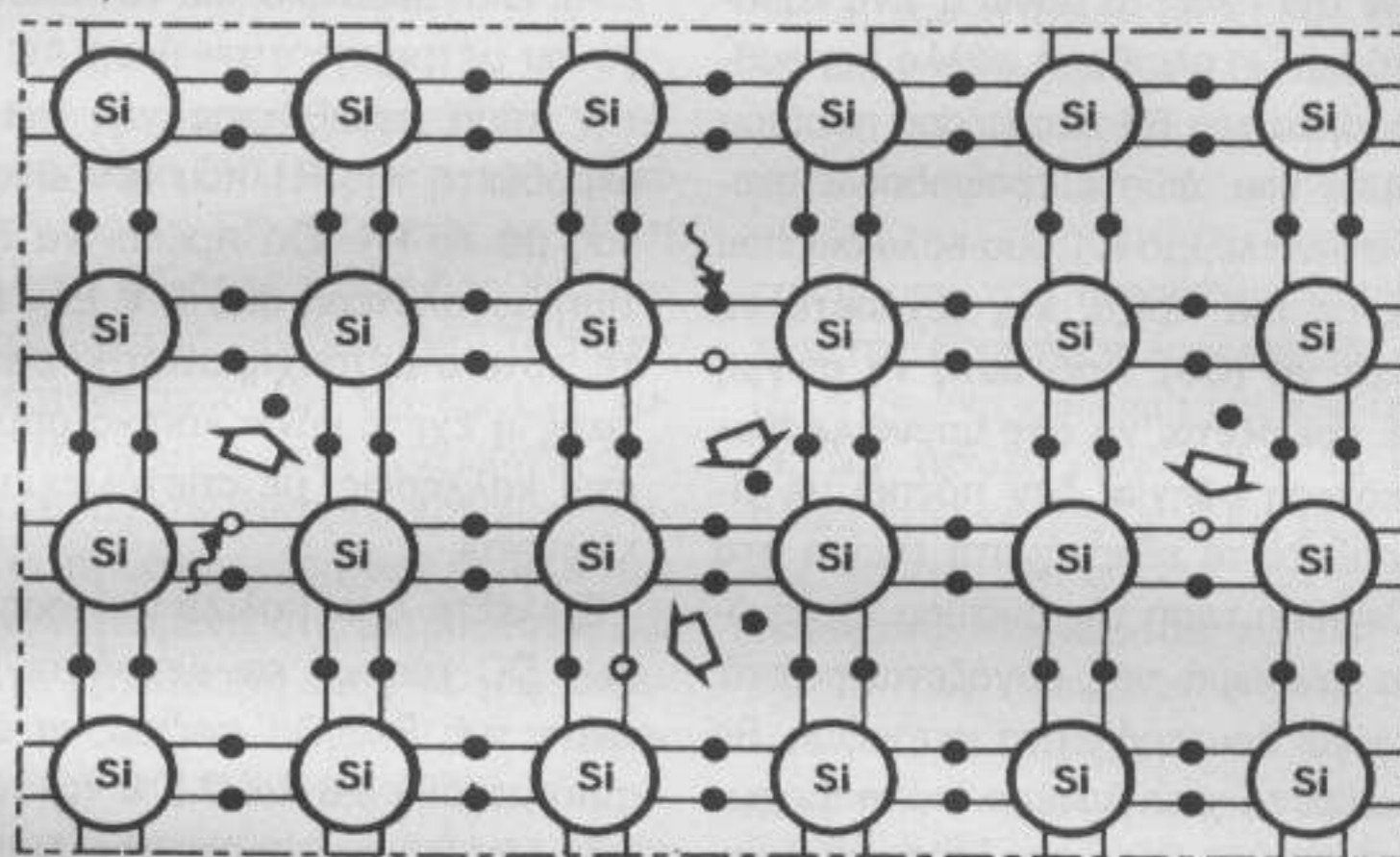
## Τέλος ή αρχή μιας τεχνολογίας;

Το θέμα της ηλιακής ενέργειας προκαλεί συχνά θερμές συζητήσεις. Θεωρούμενη σαν οικολογική φαντασίωση από τους εχθρούς της, η τεχνολογία ηλιακής ενέργειας υμνολογείται σαν πανάκεια, μαζί με άλλες εναλλακτικές μορφές ενέργειας από τους υποστηρικτές της. Ως συνήθως, η αλήθεια βρίσκεται πιθανότατα κάπου στη μέση. Για να έχει κανείς αντικειμενική γνώμη επί της διαμάχης αυτής, θα πρέπει να γνωρίζει κατά βάση τη σχετική τεχνολογία, πράγμα που συχνά παραβλέπεται στις ιδεολογικά βασισμένες διαφωνίες. Το άρθρο αυτό παρουσιάζει μια επισκόπηση των διαθέσιμων τύπων ηλιακών κυττάρων καθώς και εκείνων που θα διατίθενται προσεχώς όπως και των τρόπων πρακτικής εφαρμογής τους σε εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Δίνεται επίσης κάποια προσοχή στη σημερινή τεχνολογία μπαταριών.

Τα φωτοβολταϊκά κύτταρα βασίζονται σχεδόν αποκλειστικά στη χρήση πυριτίου για την παραγωγή τάσης. Το καθαρό (κρυσταλλικό) πυρίτιο είναι ημιαγωγός, ένας κρύσταλλος δηλαδή όπου τα άτομά του έχουν κανονική γεωμετρική διάταξη στο χώρο και ενώνονται με χημικούς δεσμούς. Με την πρόσδοση ενέργειας, π.χ. με την πρόσπτωση φωτός, μπορούν να αποσπαθούν ηλεκτρόνια από τα άτομα. Για το πυρίτιο, το έργο εξαγωγής ηλεκτρονίων από τα άτομα είναι περίπου 1.2 eV ( $5 \times 10^{26}$  kWh).

μα, τα ιωδή (μοβ) φωτόνια έχουν περισσότερη ενέργεια από τα κόκκινα. Η συνολική ισχύς της ακτινοβολίας υπολογίζεται από τον αριθμό των φωτονίων που φθάνουν στην επιφάνεια συλλογής τους στη μονάδα του χρόνου, επί την ενέργεια ενός φωτονίου (για μονοχρωματική ακτινοβολία). Όταν απορροφάται ένα φωτόνιο, η ενέργειά του μεταβιβάζεται σε ένα μόνο ηλεκτρόνιο, άσχετα με την ποσότητά της. Το μόνο κριτήριο για την απορρόφηση αυτής της ενέργειας είναι να είναι

1



960016 - 11

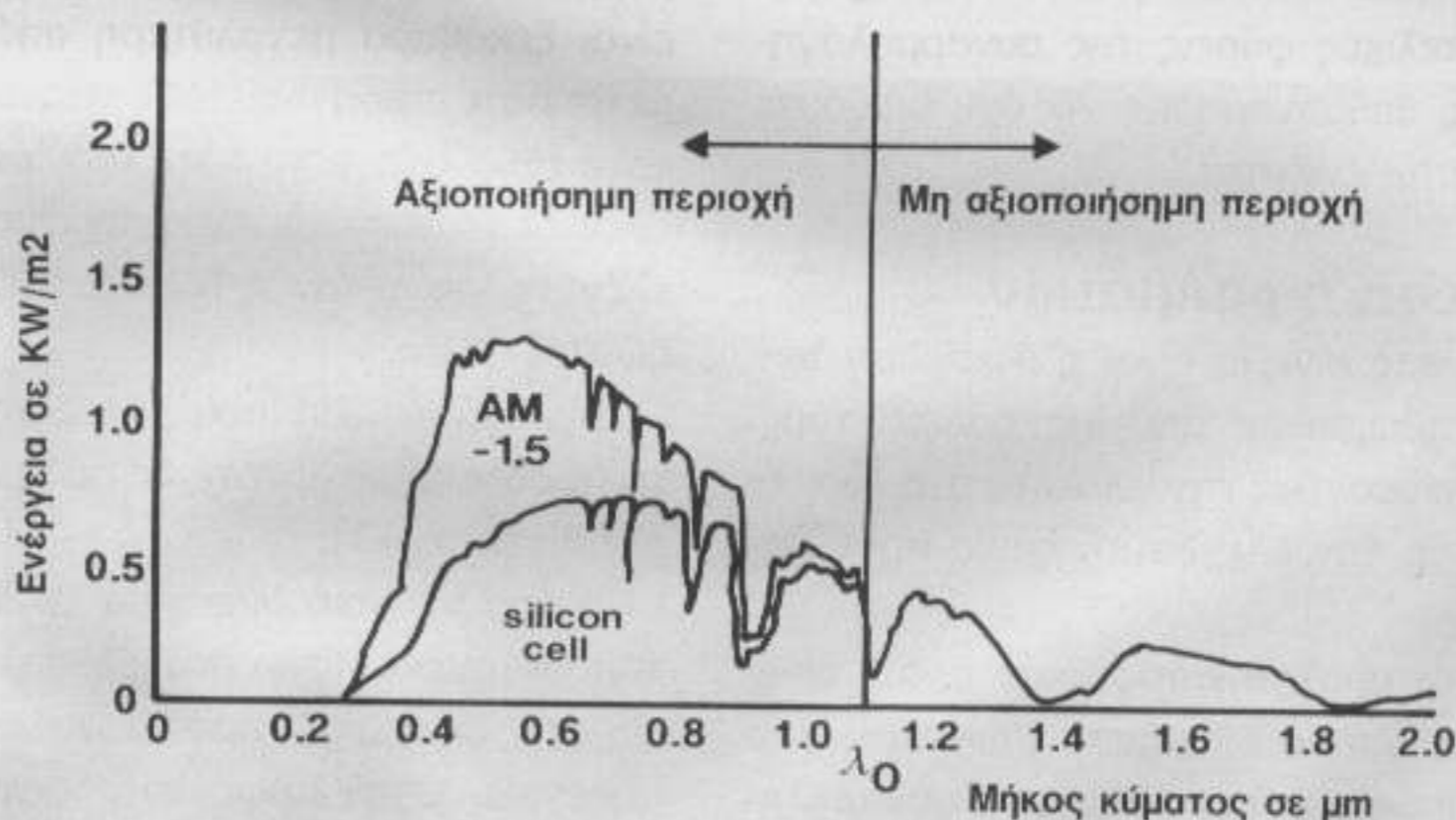
Καθ' όσον αφορά την αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη, το φως αποτελείται από σωματίδια (φωτόνια). Η ενέργεια ενός φωτονίου εξαρτάται από το χρώμα του, ή αλλιώς από

**Σχήμα 1: Για την εξαγωγή ενός ηλεκτρονίου από το κρυσταλλικό πλέγμα του πυριτίου απαιτείται κατ'ελάχιστο ενέργεια  $5 \times 10^{26}$  kWh.**

ίση ή μεγαλύτερη της ενέργειας διέγερσης και εν προκειμένω εξαγωγής του ηλεκτρονίου.

Τα ηλιακά κύτταρα δεν αποτελούνται από καθαρό πυρίτιο. Το βασικό κρυσταλλικό

2

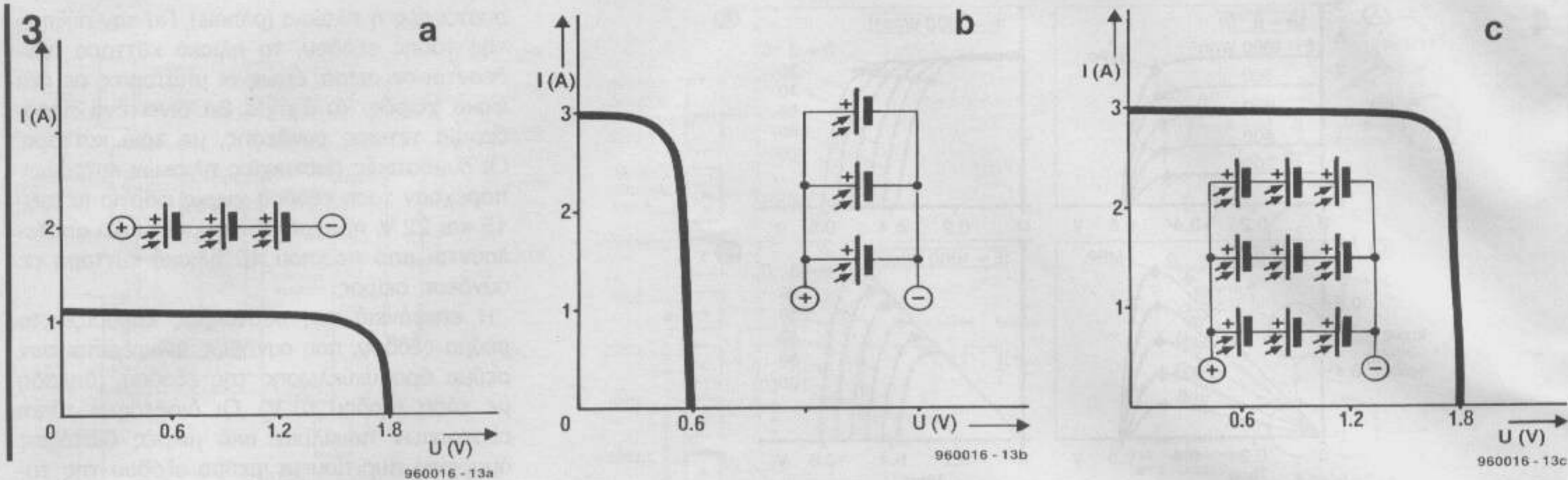


960016 - 12

το ισοδύναμο μήκος κύματος του φωτονίου. Όσο μικρότερο είναι αυτό το μήκος κύματος, τόσο μεγαλύτερη η ενέργεια του φωτονίου. Για παράδειγ-

**Σχήμα 2: Από το φάσμα ηλιακού φωτός που φθάνει στη Γη, μόνο τα μέρη του AM-1 και AM-5 μπορούν να αξιοποιηθούν από τα ηλιακά κύτταρα για παραγωγή ενέργειας.**

υλικό είναι διαταγμένο σε στρώματα και έχει νοθευθεί σκόπιμα, δηλαδή ξένα άτομα που έχουν ή ένα ηλεκτρόνιο λιγότερο



**Σχήμα 3: Τρόποι συνδεσμολογίας ηλιακών κυττάρων για αύξηση της τάσης ή του ρεύματος εξόδου: α) σειράς β) παράλληλος γ) παραλλήλων σειρών.**

από το πυρίτιο στην εξωτερική στοιβάδα τους (βόριο ή αλουμίνιο για νοθεία τύπου P) ή ένα περισσότερο (φωσφόρος ή αρσενικό για νοθεία τύπου N). Προκαλείται έτσι διαταραχή της κατανομής των χημικών (ομοιοπολικών) δεσμών μεταξύ των γειτονικών ατόμων στο κρυσταλλικό πυρίτιο. Με αυτή την κατανομή και εφόσον οι περιοχές P και N συνορεύουν, η πρόσπτωση φωτονίων ικανής ενέργειας στην περιοχή της επαφής P-N αποδεσμεύει ηλεκτρόνια και οπές (ελλείψεις ηλεκτρονίων), που συλλέγονται σαν ηλεκτρικά φορτία (-) και (+) στα ηλεκτρόδια του ηλιακού κυττάρου.

Το ηλεκτρικό ρεύμα που προκύπτει αντιπροσωπεύει από ενεργειακή άποψη ένα πολύ μικρό ποσοστό της προσπίπτουσας στο ηλιακό κύτταρο φωτεινής ενέργειας. Τούτο οφείλεται σε δύο λόγους: Πρώτον, μόνο το 50% κατά μέγιστο, της ηλιακής ενέργειας του ηλια-

κού φάσματος μπορεί να αξιοποιηθεί από τα υπάρχοντα ηλιακά κύτταρα (Σχήμα 2). Δεύτερο, η απόδοση περιορίζεται από παράγοντες όπως η ανάκλαση, η επανασύνδεση ηλεκτρονίων/οπών κλπ. Στην πράξη, η συνολική από-

δοση ενός ηλιακού κυττάρου σπάνια ξεπερνάει το 16%. Αποδόσεις μέχρι 40% μπορούν να επιτευχθούν μόνο υπό συνθήκες εργαστηρίου. Γενικά, τα ηλιακά κύτταρα διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ως προς το υλικό τους:

1) Μονοκρυσταλλικού πυριτίου, που έχουν και τη μεγαλύτερη απόδοση (12-15%). Παράγονται από λεπτές φέτες μονοκρυστάλλου και διακρίνονται από τις στρογγυλεμένες ή σπασμένες γωνίες τους και την λεία γαλαζοπράσινη επιφάνειά τους.

2) Πολυκρυσταλλικού πυριτίου, που παράγονται από πυρίτιο που κόβεται κατά τμήμα-

τα. Με την ελεγχόμενη ψύξη αυτών των τμημάτων δημιουργούνται μεγάλες κρυσταλλώσεις στη δομή του, με κάθετο προσανατολισμό ως προς την επιφάνεια. Μετά την κοπή σε φέτες, η επιφάνεια είναι σαν οπάλιο. Τα πολυκρυσταλλικά κύτταρα μπορούν να θεωρηθούν σαν παράλληλη διάταξη μονοκρυστάλλων. Η απόδοσή τους είναι λίγο μικρότερη (10-13%).

3) Άμορφου πυριτίου, που είναι το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο υλικό για ηλιακά κύτταρα. Αποτελούνται από monosilane (SiH<sub>4</sub>) που έχει αναπτυχθεί σε πολύ λεπτά στρώματα πάνω σε μια γυάλινη επιφάνεια. Η παραγωγή τους είναι απλή και οικονομικά αποδοτική. Το στρώμα του πυριτίου είναι εντελώς άμορφο, δηλαδή δεν έχει πλέον κρυσταλλική δομή. Σαν αποτέλεσμα, η απόδοση είναι το πολύ 7%. Εντούτοις, τα κύτταρα άμορφου πυριτίου έχουν εξαπλωθεί σε πολλές εφαρμογές χαμηλής κατανάλωσης (ρολόγια χεριού, υπολογιστές τσέπης) κυρίως επειδή είναι χαμηλού κόστους. Υπάρχει ένα πρόβλημα μακροχρό-

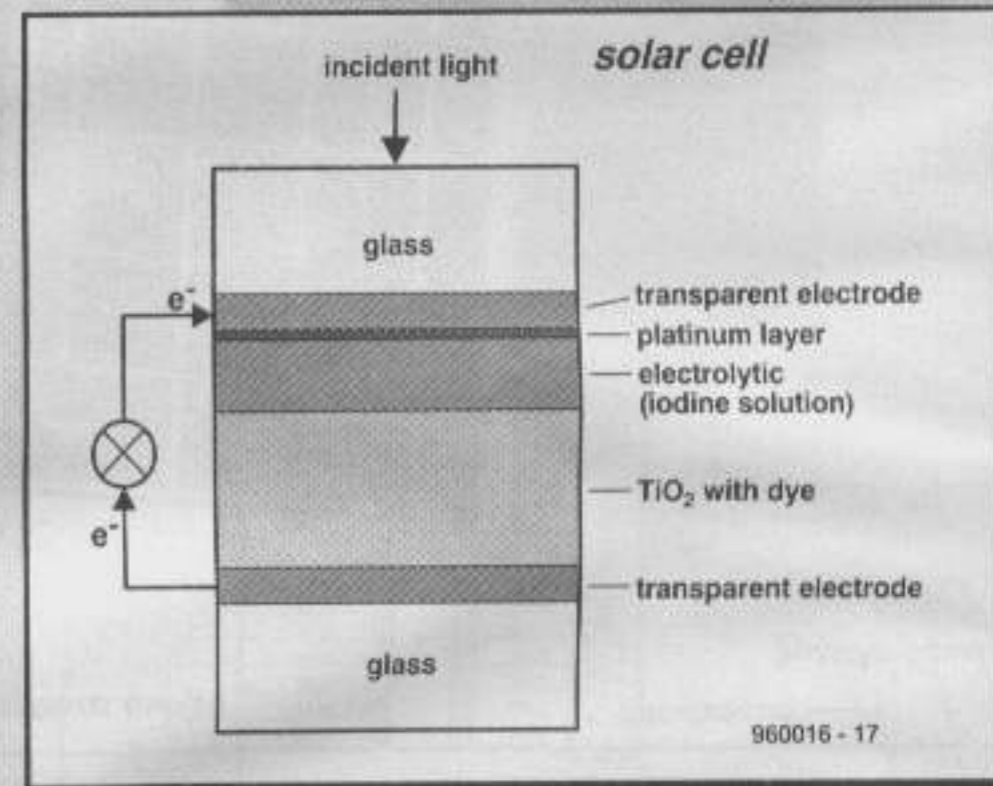
### Μια εναλλακτική περίπτωση:

## Το κύτταρο φωτοσύνθεσης

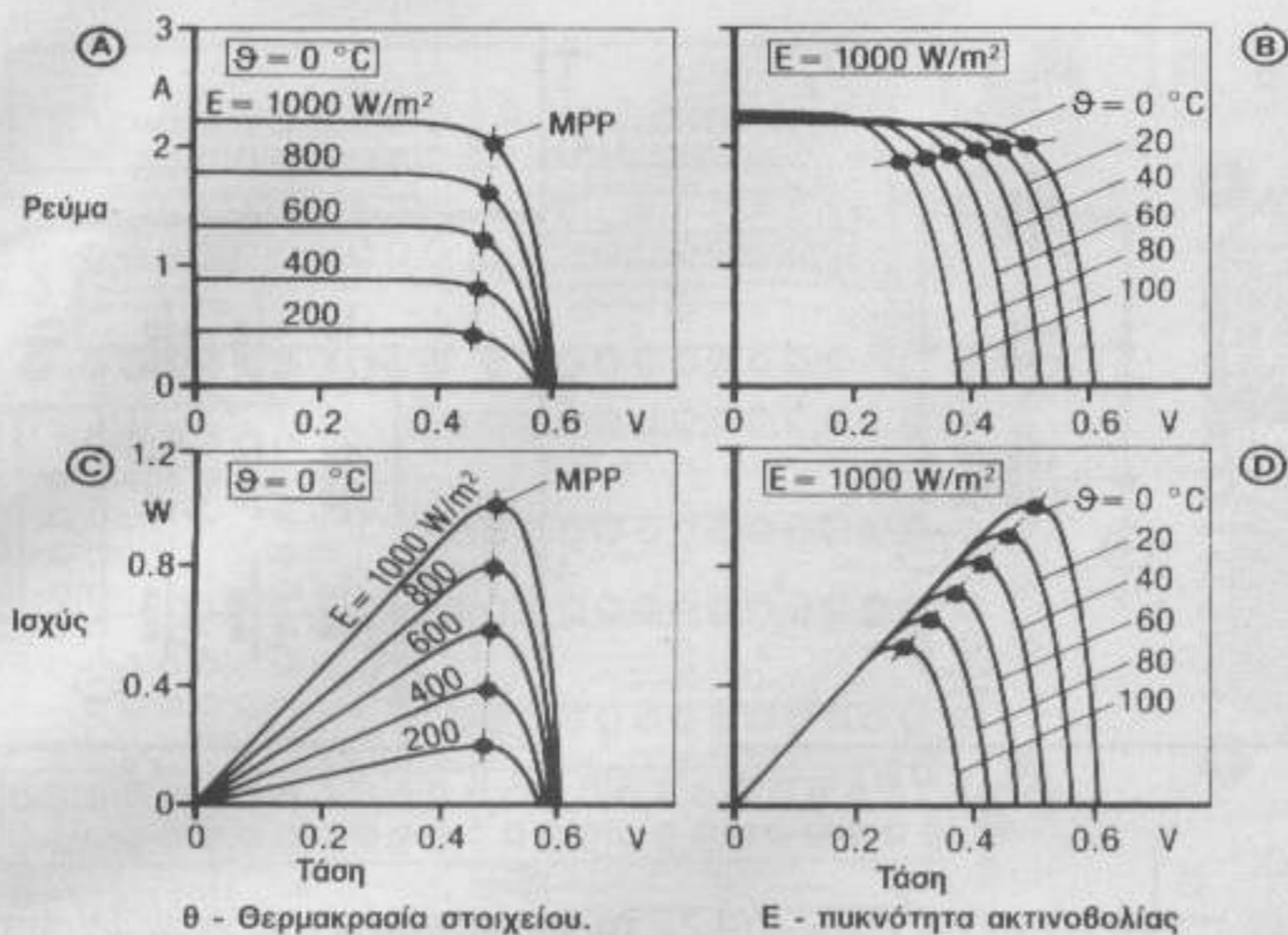
Πριν τρία χρόνια περίπου, ο καθηγητής Graetzel, ένας ερευνητής του Τεχνικού Πανεπιστημίου της Λοζάνης, πρότεινε τις βάσεις ενός ηλιακού κυττάρου που δεν βασίζεται στο πυρίτιο για την μετατροπή της ενέργειας. Αντ' αυτού χρησιμοποιεί για την ενεργειακή μετατροπή μια φωτοσυνθετική μεμβράνη, ακριβώς όπως κάνουν τα φυτά! Από το περυσινό καλοκαίρι, οι ερευνητές στο Ινστιτούτο Εφαρμοσμένης Φωτοβολταϊκής (Institute for Applied Photovoltaics -INAP), στο Gelsenkirchen της Γερμανίας, ασχολούνται με πειράματα που θα επιτρέψουν την μαζική παραγωγή αυτής της διάταξης μετατροπής (μάλλον παραγωγής) ενέργειας. Το κύτταρο, το οποίο αναφέρεται επίσης σαν χλωροφύλλη, βαφή ή νάνο-ηλιακό κύτταρο, βασίζεται στη φθηνή ημιαγώγιμη βαφή διοξειδίου του τιτανίου (TiO<sub>2</sub>) η οποία τυπώνεται, σε μορφή πάστας και κατόπιν στερεοποιείται σε ένα γυάλινο φορέα που φέρει ένα διαφανές ηλεκτρόδιο. Η μεγάλη επιφάνεια που δημιουργείται με αυτό τον τρόπο εμβαπτίζεται σε διάλυμα ρουθενίου (ruthenium dye) που καλύπτει τα σωματίδια του διοξειδίου του τιτανίου με ένα μονομοριακό στρώμα. Ένας υγρός ηλεκτρολύτης, (iodine/iodide) ψεκάζεται επάνω στην όλη διάταξη, που στη συνέχεια καλύπτεται με ένα φύλλο πλατίνας, που δρα σαν καταλύτης. Τέλος, η κατασκευή γίνεται "σάντουιτς", αποκτώντας άλλο ένα γυάλινο στρώμα, με επίσης διαφανές ηλεκτρόδιο. Ας σημειωθεί ότι πειράματα με χλωροφύλλη έχουν αρχίσει να γίνονται από τη δεκαετία του 70. Το φως ενεργοποιεί το μονομοριακό στρώμα ρουθενίου, προκαλώντας έκλυση ηλεκτρονίων που συλλαμβάνονται από το διοξείδιο του τιτανίου. Οι "οπές" που απέμειναν από τα εκλυθέντα ηλεκτρόνια καταλαμβάνονται από άλλα, προερχόμενα από το διάλυμα iodine, που με τη σειρά του προσελκύει ηλεκτρόνια

από το υπερκείμενο διαφανές ηλεκτρόδιο. Κατά συνέπεια, η απορρόφηση του φωτός και ο διαχωρισμός των ηλεκτρικών φορέων γίνονται σε διαφορετικά στρώματα. Επειδή δεν υπάρχουν "οπές" στο στρώμα διοξειδίου του τιτανίου, δεν συμβαίνει επανασύνδεση φορέων. Έτσι τα ηλεκτρόνια ταξιδεύουν ελεύθερα προς το διαφανές ηλεκτρόδιο. Η

πορεία για τη μαζική παραγωγή των κυττάρων χλωροφύλλης έχει πολλά εμπόδια και αποτυχίες. Για παράδειγμα, η βαφή που χρησιμοποιείται μέχρι τώρα (η καρδιά του στοιχείου) είναι κάπως ασταθής και αποσυντίθεται σε μια δεκαετία. Αν και τα παράγωγα ρουθενίου και οσμίου είναι σπάνια, ακριβά και απαιτούνται σε μεγάλη καθαρότητα, η ποσότητά τους είναι ευτυχώς ελάχιστη ανά στοιχείο. Ένα δεύτερο πρόβλημα είναι το διάλυμα ιωδίνης (iodine), που είναι πολύ επιθετικό και τείνει να οξειδώσει τα συγκολλητικά και πλαστικά μέρη. Παρά τα προβλήματα αυτά, οι ερευνητές του INAP ελπίζουν να μπορούν να παράγουν τα πρώτα πρωτότυπα αυτών των κυττάρων με επιφάνεια 100 τετρ. εκατοστών και συνολική απόδοση 10% περίπου μέχρι το τέλος αυτού του χρόνου. Αν αυτός ο στόχος επιτευχθεί, η πρώτη μαζική παραγωγή προβλέπεται για το έτος 2000.



960016 - 17



**Σχήμα 4:** Τα κύρια χαρακτηριστικά μιας ηλιακής συστοιχίας παρέχουν ουσιώδεις πληροφορίες για τη μεγιστοποίηση της ισχύος εξόδου (MPP).

με τα προηγούμενα δύο είδη, η απόδοσή τους υποβαθμίζεται με τον χρόνο, αν και τώρα πλέον όχι τόσο γρήγορα όσο παλαιότερα.

Το κύριο μειονέκτημα των ηλιακών κυττάρων είναι ότι η καθαρότητα του χρησιμοποιούμενου πυριτίου πρέπει να είναι πέραν πάσης

νιας σταθερότητας, επειδή σε αντίθεση

φαντασίας. Αυτό όμως ξενίζει, αφού οι πηγές της πρώτης ύλης είναι πρακτικά ανεξάντλητες. Εκτός αυτού, το πυρίτιο δεν είναι τοξικό, είναι οικολογικά καθαρό και επεξεργάζεται εύκολα. Αναφορικά με την καθαρότητά του, η εσκεμμένη νόθευση δεν ξεπερνά το 1ppb (1 ξένο άτομο σε 1 δισεκατομμύριο άτομα πυριτίου). Η παραγωγή πυριτίου τέτοιας καθαρότητας είναι ακριβή και πολύπλοκη. Αυτό έχει αντίκτυπο όχι μόνο στο κόστος αλλά και στον μικρό όγκο της παραγωγής καθαρού κρυσταλλικού πυριτίου. Για παράδειγμα, ένας σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας 1Giga-Watt θα απαιτούσε το 1/4 της παγκόσμιας παραγωγής πυριτίου! Ετσι παρ'όλο ότι

το πυρίτιο είναι σχεδόν ανεξάντλητη σαν πρώτη ύλη και παρ'όλο ότι είναι τοξικό και επεξεργάζεται εύκολα η χρήση του περιορίζεται από την καθαρότητα του κρυστάλλου.

### Απο το κύτταρο στο τμήμα

Ενα μόνο ηλιακό κύτταρο παρέχει περίπου 0.6 V τάσης, ανεξάρτητα από το μέγεθός του. Τα κύτταρα από άμορφο πυρίτιο παρέχουν λίγο μεγαλύτερη τάση, περίπου 0.8 V. Υπό κανονικές συνθήκες, δηλαδή με το τυπικό μέγεθος ενός ηλιακού κυττάρου (10X19 cm) η ισχύς εξόδου είναι σχετικά χαμηλή, μόλις 1.2 έως 1.4 W. Συνεπώς, για την παροχή χρήσιμων τάσεων ή ποσών ισχύος, τα ηλιακά κύτταρα πρέπει να συνδέονται σε

συστοιχίες ή πλαίσια (panels). Για την αύξηση της τάσης εξόδου, τα ηλιακά κύτταρα συνδέονται σε σειρά, όπως οι μπαταρίες σε ένα φακό χειρός. Το Σχήμα 3α δίνει ένα παράδειγμα τέτοιας σύνδεσης, με τρία κύτταρα. Οι συμβατικές συστοιχίες ηλιακών κυττάρων παρέχουν τάση εξόδου χωρίς φορτίο μεταξύ 15 και 22 V, πράγμα που σημαίνει ότι αποτελούνται από περίπου 40 ηλιακά κύτταρα σε σύνδεση σειράς.

Η επιφάνεια της συστοιχίας καθορίζει το ρεύμα εξόδου, που συνήθως αναφέρεται σαν ρεύμα βραχυκύκλωσης της εξόδου, (δηλαδή με τάση εξόδου 0 V). Οι διαθέσιμοι τύποι συστοιχιών ποικίλουν από μικρές διατάξεις άμορφου πυριτίου με ρεύμα εξόδου της τάξης των mA, μέχρι διατάξεις με επιφάνεια ενός τετραγωνικού μέτρου, με μονοκρυσταλλικό πυρίτιο, που παρέχουν ρεύμα βραχυκύκλωσης εξόδου περισσότερο από 5 A. Το Σχήμα 3b δείχνει ότι μερικές ΤΕΛΕΙΩΣ ΙΔΙΕΣ συστοιχίες μπορούν να συνδεθούν παράλληλα, για την αύξηση του ρεύματος εξόδου. Σε αυτή την περίπτωση, η τάση εξόδου είναι αυτή του ενός μόνο κυττάρου (ή συστοιχίας, κατά περίπτωση). Τέλος, είναι δυνατόν να γίνει συνδυασμός συνδέσεων σειράς και παράλληλης, όπως δείχνει το Σχήμα 3c.

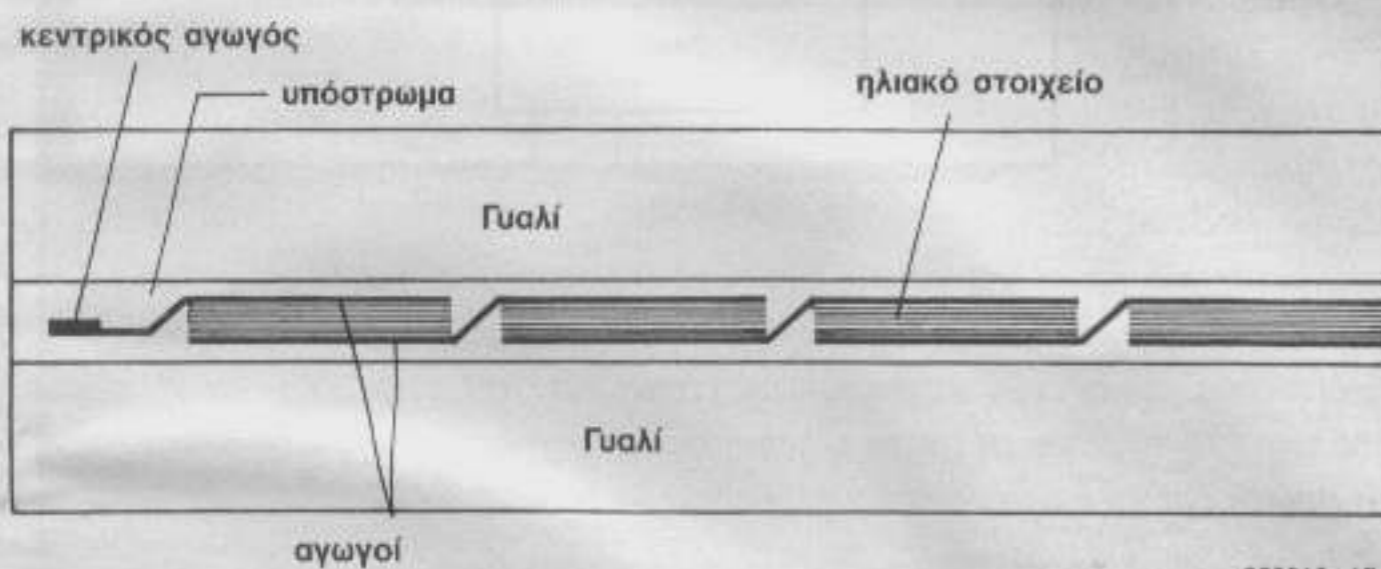
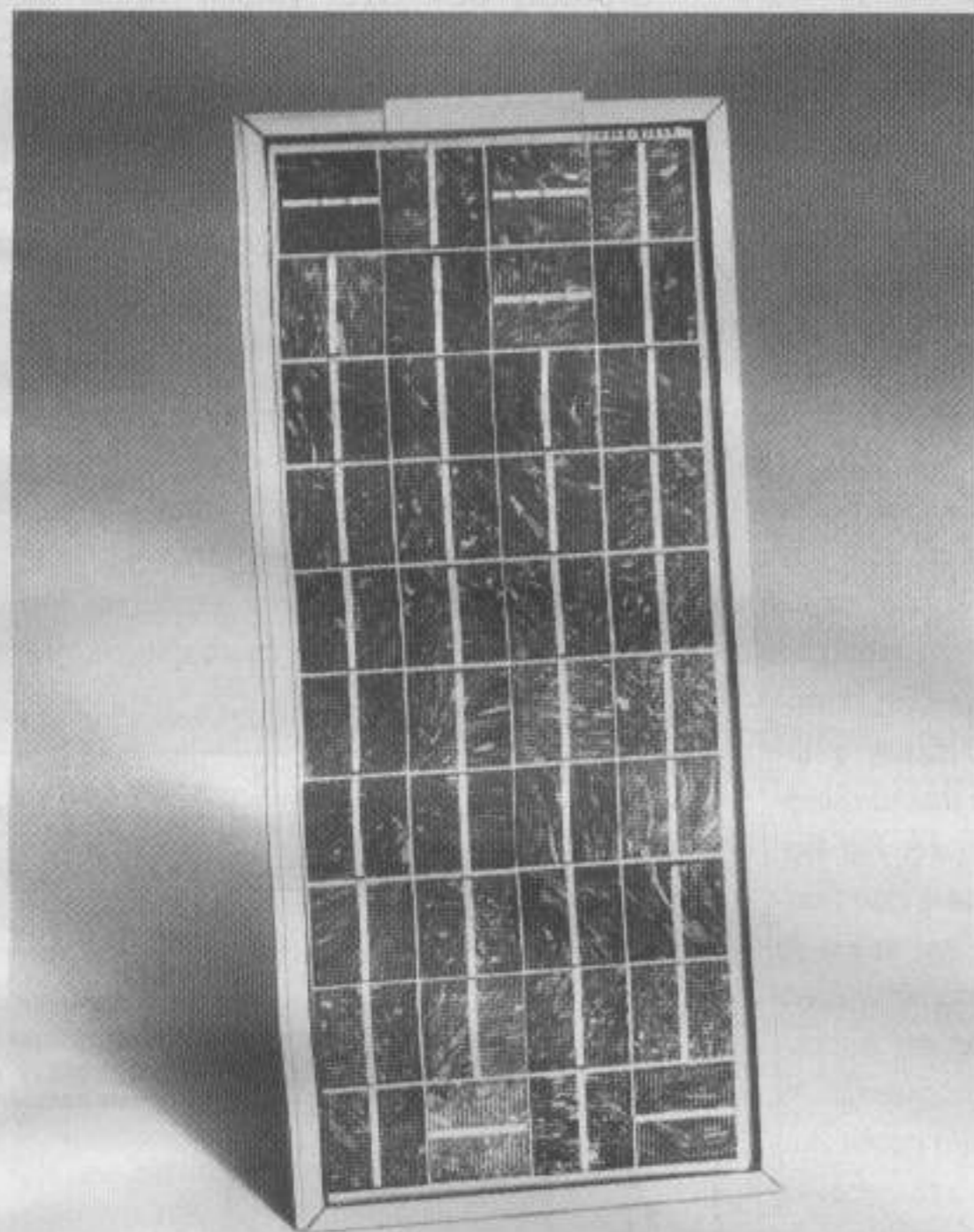
Θεωρητικά, με 20 ηλιακά κύτταρα σε σειρά μπορούμε να φορτίσουμε μια μπαταρία 12 V. Στην πράξη όμως, χρειάζονται κάπως περισσότερα. Η τάση εξόδου ενός ηλιακού κυττάρου δεν είναι σταθερή. Μειώνεται με τη θερμοκρασία και την μείωση του ηλιακού φωτός. Το φαινόμενο αυτό είναι εμφανέστερο στα κύτταρα πολυκρυσταλλικού πυριτίου, από ότι στα αντίστοιχα του μονοκρυσταλλικού. Ως εκ τούτου, πριν σχεδιαστεί μια εγκατάσταση ηλιακών κυττάρων θα πρέπει να μελετηθούν τα χαρακτηριστικά της, κατά κύτταρο ή συστοιχία (βλέπε Σχήμα 4).

Για τη μεγιστοποίηση της απόδοσης, το σύστημα παροχής ηλιακής ισχύος πρέπει να λειτουργεί στο σημείο μέγιστης ισχύος (MPP, Maximum Power Point), όπου η παρεχόμενη ηλεκτρική ισχύς εξόδου μεγιστοποιείται. Το σημείο MPP μεταβάλλεται με τη ένταση του φωτισμού και τη θερμοκρασία των ηλιακών κυττάρων.

Μέσα σε μια συστοιχία τα ηλιακά κύτταρα συνδέονται έτσι που το χαμηλότερο μέρος του ενός ενώνεται με το υψηλότερο μέρος του άλλου. Οι επαγγελματικές συστοιχίες σχηματίζουν μια συμμετρική υαλοκατασκευή: Τηκόμενο συγκολλητικό φύλλο, ηλιακά κύτταρα, τηκόμενο συγκολλητικό φύλλο, γυαλί. Το πλαίσιο στήριξης της διάταξης είναι από ανοξείδωτο ατσάλι V<sup>4</sup> A. Το Σχήμα 5 δείχνει μια συστοιχία της Telefunken (Temic) με πολυκρυσταλλικά κύτταρα και τη μηχανική δομή τους.

### Συνδέσεις δικτύου και ανεξάρτητα συστήματα

Βασικά διακρίνουμε δύο τύπους συστημάτων ηλιακών κυττάρων: Αυτά που προορίζονται για σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο πόλεως και αυτά που παρέχουν ισχύ σε φορτία



**Σχήμα 5:** Τρόπος διασύνδεσης ανεξάρτητων κυττάρων πολυκρυσταλλικού πυριτίου για τη δημιουργία συστοιχίας.

ανεξάρτητα από το δίκτυο πόλεως.

Από οικονομική άποψη, τα ηλιακά συστήματα για σύνδεση στο δίκτυο δεν φαίνονται να έχουν νόημα. Το κόστος μίας kWh (1kW παρεχόμενο επί μία ώρα) είναι περίπου 300 έως 550 δραχμές και βέβαια αυτό είναι πολύ μεγαλύτερο από το ακριβότερο τιμολόγιο της ΔΕΗ, που παράγει ηλεκτρισμό από καύση άνθρακα, πετρελαίου και από υδατοπτώσεις. Τα ηλιακά συστήματα που συνδέονται στο δίκτυο είναι οικονομικά βιώσιμα μόνο μέσω μεγάλων κρατικών επιχορηγήσεων και ακόμη και τότε, ο χρόνος απόσβεσης του αρχικού κόστους είναι πολύ μεγάλος.

Η παραγωγή όμως φωτοβολταϊκής ενέργειας δεν έχει ξεπεράσει το πρώιμο στάδιό της. Οι τιμές των ηλιακών συστοιχιών και των παρελκομένων τους, όπως είναι οι ζεύκτες προς το δίκτυο πόλεως μειώνονται συνεχώς, ενώ η απόδοση των ηλιακών κυττάρων αυξάνει. Βραχυπρόθεσμα δεν προβλέπεται τέλος σε αυτή τη διαδικασία, επειδή νέες τεχνολογίες, όπως η χλωροφύλλη και τα κύτταρα CIS παρέχουν ελπίδες για οικονομικά και αποδοτικά ηλιακά κύτταρα.

Τα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα της αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας είναι τεκμηριωμένα πλέον πέρα από κάθε αμφιβολία. Οι ισχυρισμοί ότι η κατασκευή των ηλιακών κυττάρων απαιτεί περισσότερη δαπάνη ενέργειας από αυτή που θα ανακτηθεί από τον ήλιο καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους έχουν αποδειχθεί το ίδιο εσφαλμένοι με τις ιστορίες περί τοξικών αποβλήτων κατά την παραγωγή και την καταστροφή των ηλιακών κυττάρων. Η πραγματικότητα είναι ότι η ηλιακή ενέργεια δεν καταναλίσκει πολύτιμες πηγές ενέργειας, δεν μολύνει το περιβάλλον και δεν συμβάλλει στο φαινόμενο θερμοκηπίου. Εκτός αυτών, προάγει και την αποκέντρωση της παραγωγής ενέργειας.

Οι ηλιακές συστοιχίες που τροφοδοτούν αποδοτικά με ηλεκτρισμό το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο είναι σπάνιες και δεν προβλέπεται να αυξηθούν στο άμεσο μέλλον. Για τα επόμενα χρόνια, η κανονική εφαρμογή των ηλιακών κυττάρων θα είναι στα απομονωμένα συστήματα, που τροφοδοτούν ένα ή περισσότερα πραγματικά φορτία. Τέτοια φορτία μπορεί να είναι μια λάμπα στο στέγαστρο του κήπου, ένα ψυγείο στο τροχόσπιτο, ένας πομποδέκτης για καταστάσεις ανάγκης σε μια απομακρυσμένη τοποθεσία, όπως ένα ορειβατικό καταφύγιο ή ένας αναμεταδότης σε δορυφόρο ή για φάρους στα διάφορα ακροτήρια.

Είναι φανερό ότι τα στοιχεία αυτών των εφαρμογών πρέπει να προβλέπονται για ορισμένες απαιτήσεις τάσης και ρεύματος καταπόνησης, ενώ θα πρέπει να έχει προνοηθεί η αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος. Η σχεδίαση ενός τέτοιου απομονωμένου συστήματος παροχής ισχύος είναι προσανατολισμένη

στο χρήστη, που σημαίνει ότι το όλο σύστημα είναι χρήσιμο ειδικά σε όσους δεν έχουν πρόσβαση στο δίκτυο πόλεως. Σε αυτή την περίπτωση, οι περιβαλλοντικοί λόγοι έρχονται σε δεύτερη μοίρα.

## Η διάταξη αποθήκευσης

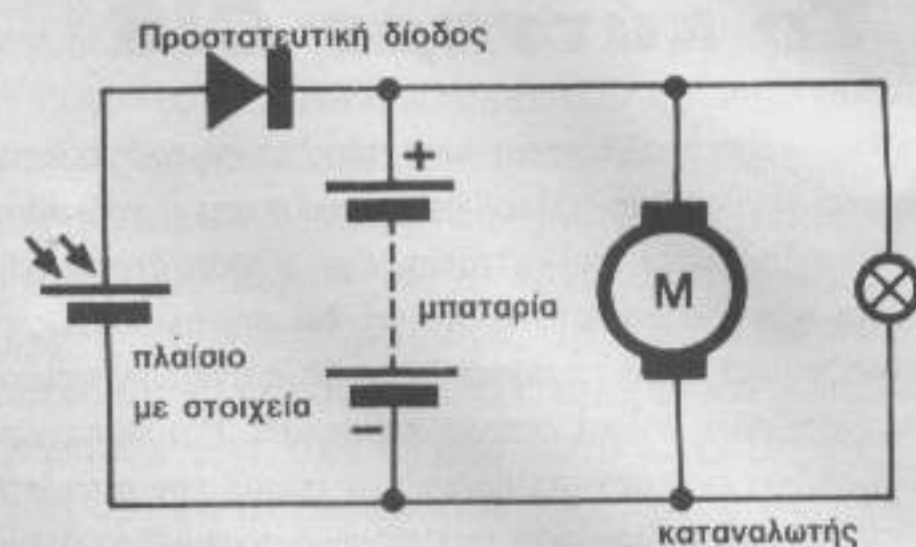
Δυστυχώς μπορεί να μην υπάρχει ήλιος την ώρα που χρειάζεστε την ενέργεια, ή, αντίθετα, να μη χρειάζεστε την ενέργεια την ώρα που υπάρχει ήλιος. Προς τούτο, εκτός από την ηλιακή συστοιχία χρειάζεται και μια διάταξη αποθήκευσης της της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται. Η πρώτη διάταξη που έρχεται στο νου για αυτό το σκοπό είναι οι μπαταρίες, που υπάρχουν σε διάφορα σχήματα και δομές. Υπάρχουν μπαταρίες ειδικού τύπου, όπως οι χλωρίου-ψευδαργύρου, οι θείου-σιδήρου, οι λιθίου, οι νικελίου-σιδήρου, οι αργύρου-ψευδαργύρου, οι θείου-νατρίου, ορισμένες από τις οποίες είναι ακόμη υπό ανάπτυξη. Από τους γνωστότερους τύπους είναι οι μπαταρίες μολύβδου, οι NiCd και οι NiMH. Αυτές οι μπαταρίες διακρίνονται για την πολύ σταθερή χωρητικότητά τους, τις πολύ χαμηλές σχετικά απώλειές τους και τη μακροζωία τους, παρά τις επανειλημμένες φορτοεκφορτίσεις, ενώ η συντήρησή τους δεν έχει μεγάλες απαιτήσεις. Οι πλάκες των μπαταριών μολύβδου για ηλιακές συστοιχίες νοθεύονται με σεληνίο ή ασβέστιο, αντί για το αντιμόνιο των μπαταριών μολύβδου των αυτοκινήτων. Αυτές οι ειδικές μπαταρίες έχουν πολλαπλά επαναλήψιμη λειτουργία υπό βαθιά εκφόρτιση, άριστη απόδοση φόρτισης, μικρό ρεύμα αυτοεκφόρτισης, αντέχουν στις υπερφορτίσεις και στις ολικές εκφορτίσεις και δυστυχώς, είναι ακριβές! Οι μπαταρίες βέβαια μπορούν να συνδεθούν σε σειρά και παράλληλα, εφόσον είναι όλες του ίδιου τύπου, και έχουν την ίδια χωρητικότητα, πολική τάση και κατάσταση φόρτισης.

## Ελεγκτές φόρτισης

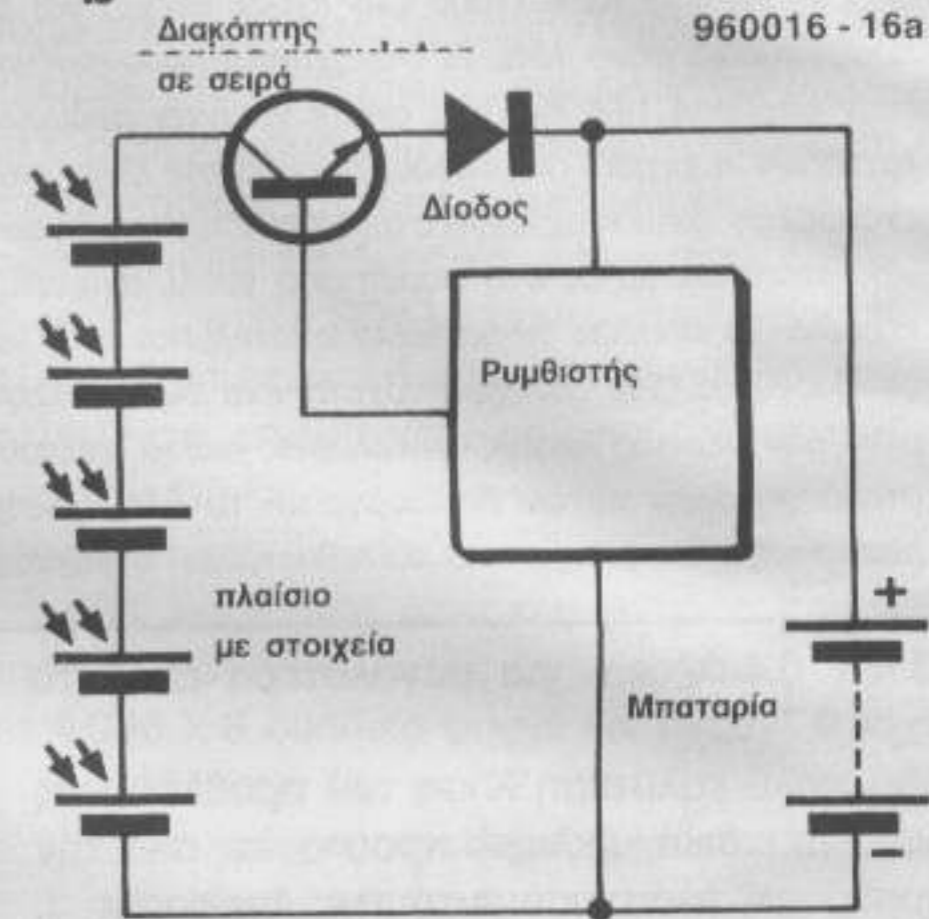
Το τρίτο στοιχειώδες τμήμα σε ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας είναι ένας ελεγκτής φόρτισης, που εξασφαλίζει την βελτιστοποιημένη μεταφορά ισχύος από τις συλλέκτριες επιφάνειες προς τις μπαταρίες. Τα απλούστερα ηλιακά συστήματα δεν διαθέτουν καθόλου ελεγκτή φόρτισης. Αντ' αυτού υπάρχει μόνο μια διόδος σε σειρά με τον αγωγό φόρτισης, που προστατεύει τις μπαταρίες από υπερφόρτιση, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6a. Η ίδια διόδος αποτρέπει την εκφόρτιση των μπαταριών μέσα από τα ηλιακά κύτταρα, όταν δεν υπάρχει αρκετός φωτισμός για τη διατήρηση της τάσης εξόδου τους. Δυστυχώς η παρεμβολή της διόδου προστασίας εισάγει ενδεχομένως σημαντικές απώλειες, που μπορούν να ελαχιστοποιηθούν χρησιμοποιώντας διόδο Schottky, που έχει τάση ορθής φοράς

**Σχήμα 6:** Η διόδος προστασίας από ανάστροφο ρεύμα αποτρέπει την εκφόρτιση των μπαταριών μέσα από τα ηλιακά κύτταρα όταν ο φωτισμός είναι ανεπαρκής. Ανεξάρτητα από το είδος του, το κύκλωμα ελέγχου φόρτισης προστατεύει τις μπαταρίες από υπερφόρτιση. Επίσης χρειαζόμαστε πάντοτε και μία προστασία από βαθιά εκφόρτιση.

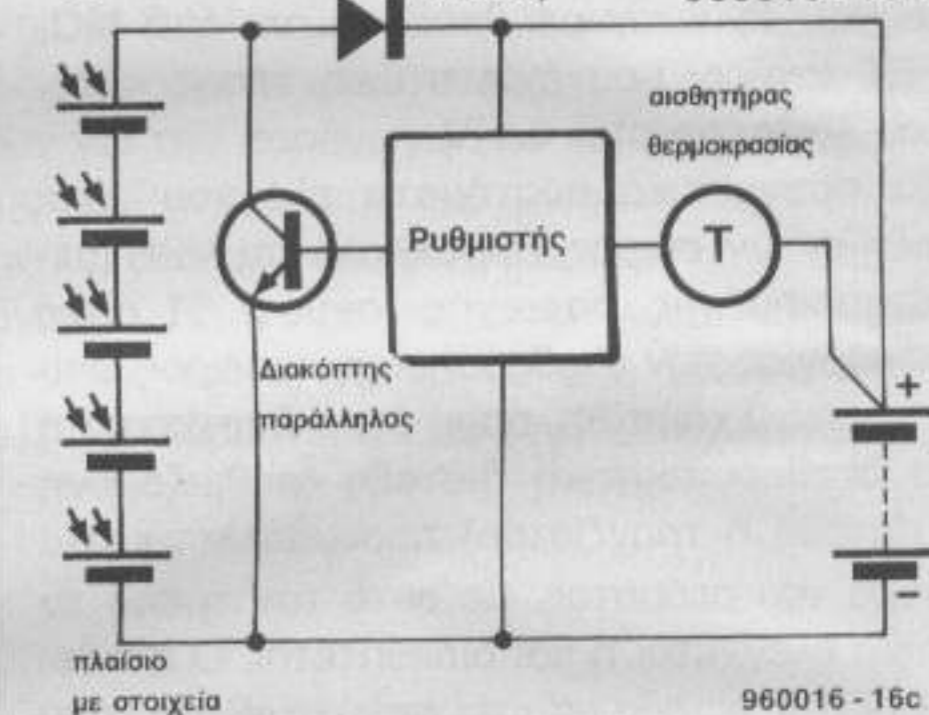
6a



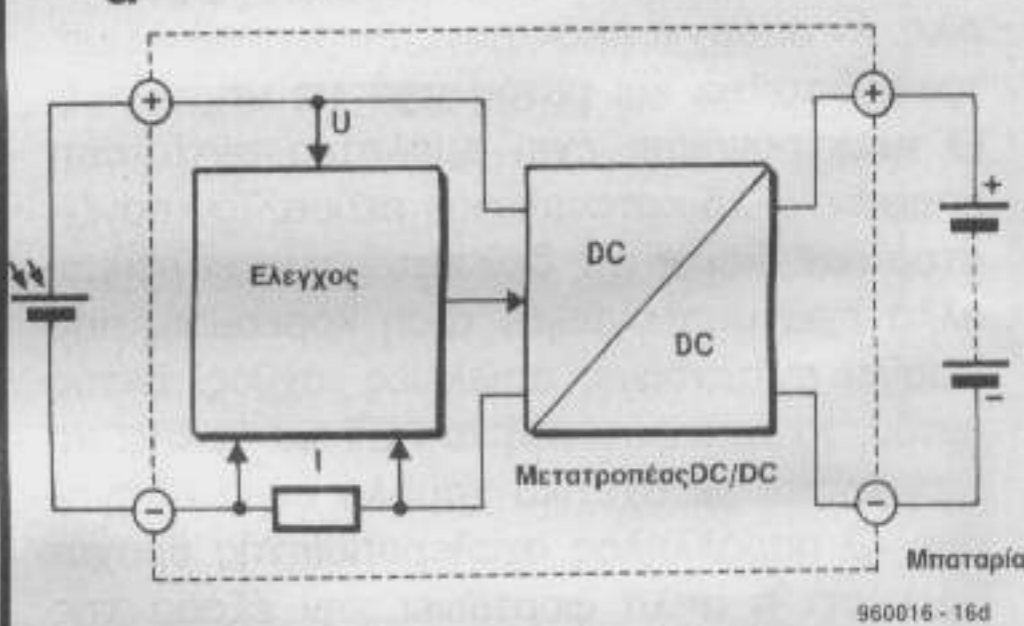
b



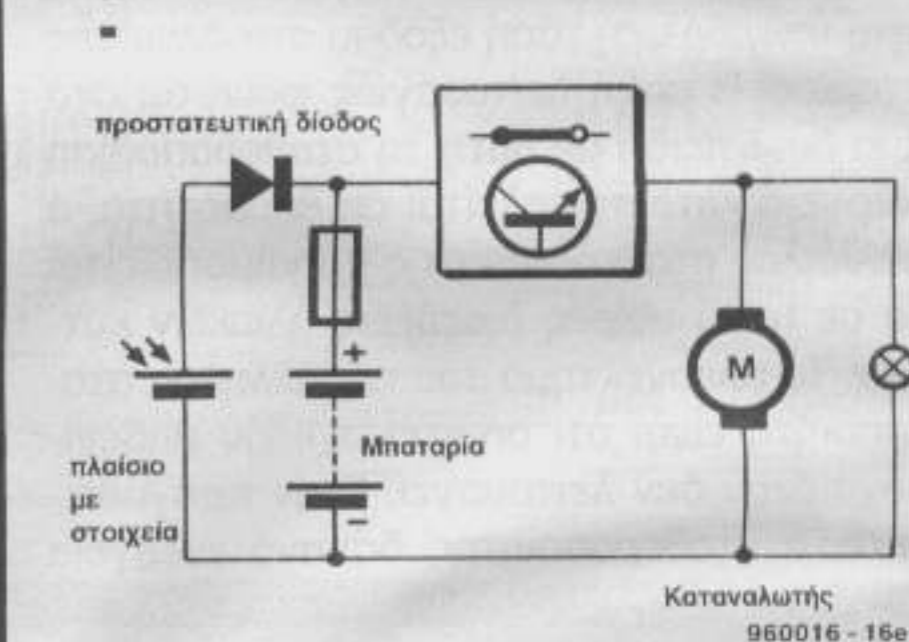
c



d



e

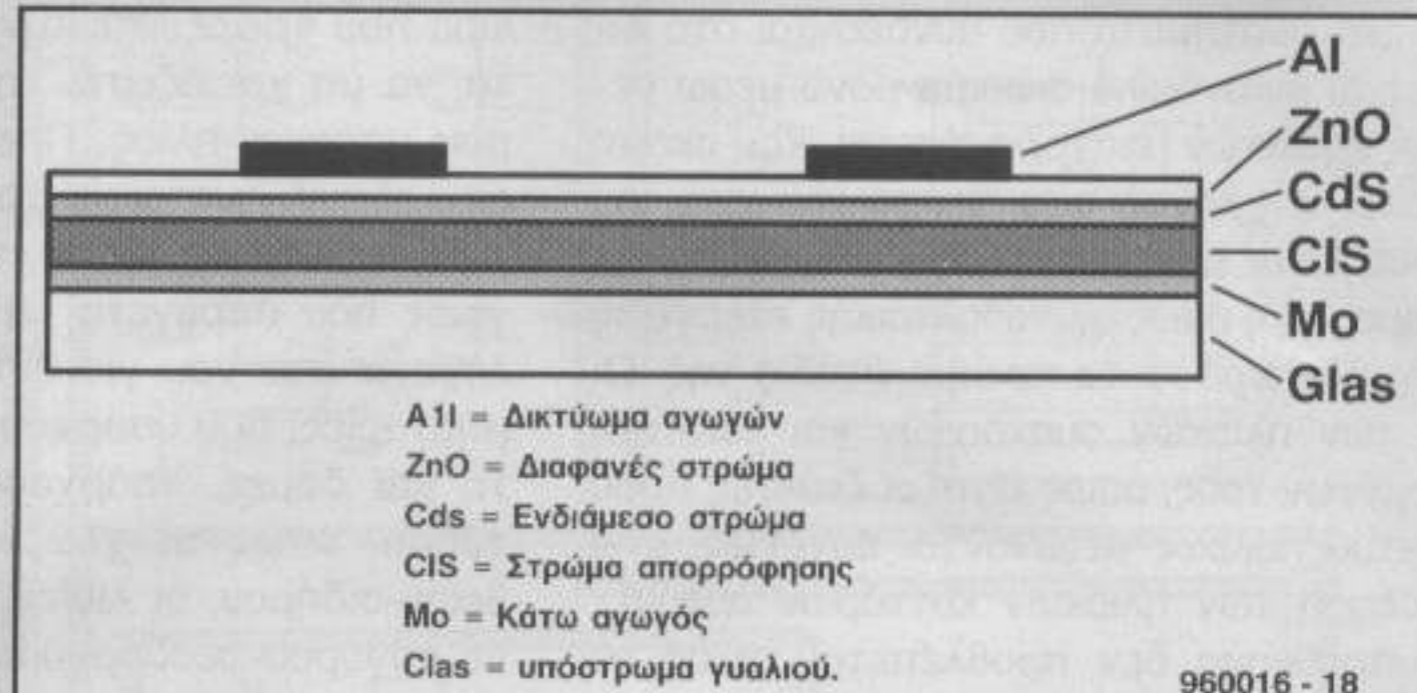


## Ένα εναλλακτικό:

# Το κύτταρο CIS

Μια ακόμη εναλλακτική λύση προς το φωτοβολταϊκό κύτταρο πυριτίου βασίζεται σε τεχνολογία χαλκού-ινδίου-σεληνίου ή χαλκού-ινδίου-σουλφιδίου (CIS). Η ανάπτυξη αυτών των κυττάρων έχει φτάσει στο σημείο όπου η Siemens ετοιμάζεται ήδη για μαζική παραγωγή. Να σημειωθεί όμως ότι τα κύτταρα CIS δεν είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Τα παράγωγα του σεληνίου είναι τοξικά, ενώ το ίνδιο είναι τοξικό, σπάνιο και ακριβό. Στο Ινστιτούτο Hahn Meitner (HMI) του Βερολίνου έχει αρχίσει έρευνα με σκοπό την αντικατάσταση του σεληνίου από θείο και του ινδίου από μολυβδαίνιο-σουλφίδιο, βολφράμιο-σουλφίδιο και βολφράμιο-σεληνιο. Τα κύτταρα CIS έχουν θεωρητική απόδοση 28%, αλλά στην πράξη τυπικά μόνο 12%. Τα βιομηχανικά παραγόμενα κύτταρα μπορεί να φθάσουν απόδοση 16% περίπου, οπότε γίνονται εφάμιλλα των μονοκρυσταλλικών κυττάρων πυριτίου. Οι μέθοδοι παραγωγής είναι απλές και γνωστές από την εναπόθεση (απο εξάχνωση) στρωμάτων πάνω σε γυαλί. Ένα στρώμα μολυβδαίνιου εναποτίθεται σε ένα φορέα από γυαλί, σχηματίζοντας έτσι το πίσω ηλεκτρόδιο. Το πρόσθιο ηλεκτρόδιο αποτελείται από διαφανές, αγώγιμο οξειδίο ψευδαργύρου. Στη συνέχεια έρχεται ένα Φωτο-ενεργό στρώμα CIS αποτελούμενο από μερικές λεπτές επικαλύψεις ινδίου, χαλκού και τελικά, θείου. Με τη στερέωση όλων αυτών δημιουργείται το όλο κρυσταλλικό, φωτο-ενεργό και απορροφητικό σύστημα του φωτοβολταϊκού στοιχείου. Χάρη στη μεγάλη τους

απορροφητικότητα, τα κύτταρα CIS μπορούν να κρατηθούν πολύ λεπτά. Το υλικό είναι πολύ σταθερό και φασματικά συμβατό με το φως. Το μεγαλύτερο μειονέκτημα των κυττάρων CIS είναι ότι το στρώμα CIS πρέπει να καλυφθεί από ένα στρώμα πολύ τοξικού καδμίου-σουλφιδίου. Το υλικό αυτό αναπτύσσει το ηλεκτρικό πεδίο που είναι απαραίτητο για την αποδέσμευση των ηλεκτρονίων. Όταν οι ερευνητές καταφέρουν να βρουν ένα υποκατάστατο, ή να νοθεύουν το ίδιο το στρώμα CIS, τα κύτταρα CIS θα ανταγωνίζονται σοβαρά τα κύτταρα πυριτίου. Η μαζική παραγωγή κυττάρων επιφανείας ενός τετραγωνικού μέτρου δεν είναι πάντως πρόβλημα, σε καμία περίπτωση.



0.3 ως 0.4 V, και για μεγαλύτερα ρεύματα μέχρι 0.7 V.

Μια πολύ καλύτερη λύση του προβλήματος είναι ένα ειδικό κύκλωμα προστασίας από την ανάστροφη τάση, σαν αυτό της Αναφοράς 1. (Σταθεροποιητής μπαταρίας για ηλιακή συστοιχία). Το κύκλωμα βασίζεται σε ένα MOSFET ισχύος, που έχει πτώση τάσης κορεσμού λιγότερη από 0.1 V.

Τα πραγματικά συστήματα ελέγχου είναι τριών ειδών: σειράς, παράλληλα και MPP (μεγιστοποιημένης παροχής ισχύος). Η αρχή λειτουργίας των σταθεροποιητών σειράς φαίνεται στο Σχήμα 6b, όπου ένας διακόπτης ή μια σταθεροποιητική διάταξη (ρυθμιζόμενη αντίσταση ή τρανζίστορ) παρεμβάλλεται στο δρόμο του ρεύματος, με αυτό τον τρόπο το ρεύμα ελέγχεται ή και διακόπτεται. Ο σταθεροποιητής σειράς απαιτεί πολύ σταθερή τάση τροφοδοσίας, που παρέχεται από τις μπαταρίες. Αν υπάρχει ηλεκτρονόμος στο κύκλωμα, τροφοδοτείται και αυτός από τις μπαταρίες. Ο ηλεκτρονόμος έχει αμελητέα αντίσταση επαφών, αλλά καταναλίσκει ρεύμα. Το τρανζίστορ σαν διακόπτης δεν καταναλίσκει ρεύμα, αλλά έχει υπολογίσιμη τάση κορεσμού, που εισάγει αντίστοιχες απώλειες ισχύος. Εκτός αυτού, το τρανζίστορ ή το FET θα πρέπει να διεγείρεται με σχετικά χαμηλό σήμα οδήγησης. Ο παράλληλος σταθεροποιητής βραχυκυκλώνει ή απλά φορτώνει την έξοδο της ηλιακής συστοιχίας μέσω ενός τρανζίστορ-διακόπτη, όταν ανιχνεύεται από το σταθεροποιητή υπερβολική τάση εξόδου στα άκρα της μπαταρίας. Η αρχή λειτουργίας φαίνεται στο Σχήμα 6c. Επειδή με αυτή τη σταθεροποίηση η ενέργεια κατασπαταλείται σε θερμότητα, ο παράλληλος σταθεροποιητής χρησιμοποιείται μόνο σε πολύ μικρές διατάξεις ηλιακών κυττάρων. Το πλεονέκτημα του παράλληλου σταθεροποιητή είναι ότι απαιτεί σχεδόν μηδενική ισχύ όταν δεν λειτουργεί. Στην πραγματικότητα, ο σταθεροποιητής δαπανά ενέργεια μόνο όταν αυτή περισσεύει από τα ηλιακά κύτταρα.

Παρόμοια με τον σταθεροποιητή σειράς, και ο παράλληλος έχει μια δίοδο στο κύκλωμα ρεύματος, που και αυτή εισάγει κάποια απώλεια τάσης. Ακόμη και οι φθινοί ελεγκτές φόρτισης που υπάρχουν σήμερα, βασίζονται στη χαρακτηριστική τάσης/ρεύματος. Η λειτουργία τους έχει τρεις φάσεις: Κανονική φόρτιση, μέχρι μια μπαταρία μολύβδου να αρχίσει να παράγει αέρια (14.4 V). Πλήρης φόρτιση (14.9 V) και συντηρητική φόρτιση (13.5 έως 13.8 V). Η φάση πλήρους φόρτισης δημιουργήθηκε ειδικά για τα ηλιακά κύτταρα. Με τον ακριβή και προσεκτικό έλεγχο της φάσης μετάβασης από την υγρή στην αέρια κατάσταση των υγρών της μπαταρίας, οι δημιουργούμενες φυσαλίδες στο υγρό της προκαλούν αρκετή ανατάραξη σε αυτό, (αφού συνήθως η μπαταρίες μένουν ακίνητες). Αυτό επιμηκύνει τη ζωή των μπαταριών. Τα μειονεκτήματα των σταθεροποιητών σειράς και παράλληλου είναι προφανή: Το πλεόνασμα της

ενέργειας δαπανάται σαν άχρηστη θερμότητα,

Σε αντίθεση, ο σταθεροποιητής MPP (μεγιστοποιημένης παροχής ισχύος), που φαίνεται στο Σχήμα 6d σχεδιάστηκε για να αξιοποιεί κατά το μέγιστο τη διαθέσιμη ενέργεια από τα ηλιακά κύτταρα. Το μειονέκτημά του είναι η ελαφρά μείωση της απόδοσης και η κυκλωματική πολυπλοκότητά του: Η τάση και το ρεύμα υπολογίζονται συνέχεια για να επιτευχθεί ο αντισταθμιστικός έλεγχος. Στην πράξη, τα πλεονεκτήματα των σταθεροποιητών MPP είναι σημαντικά μόνο σε μεγάλες εγκαταστάσεις ηλιακής ενέργειας, με ισχύ εξόδου τουλάχιστον 200 W. Ένας καλός φορτιστής σε ένα σύστημα ηλιακής ενέργειας θα πρέπει να έχει σύστημα προστασίας από βαθιά εκφόρτιση, που διακόπτει το ρεύμα φορτίου όταν η μπαταρία έχει εκφορτιστεί μέχρι τα 11 V (προκειμένου για μπαταρία 12 V). Η διακοπή γίνεται μέσω ηλεκτρονόμου ή τρανζίστορ.

