

Εφαρμογές των Laser στην Φ/Β τεχνολογία: πιο φτηνό ρεύμα από τον ήλιο

Μιχάλης Κομπίτσας

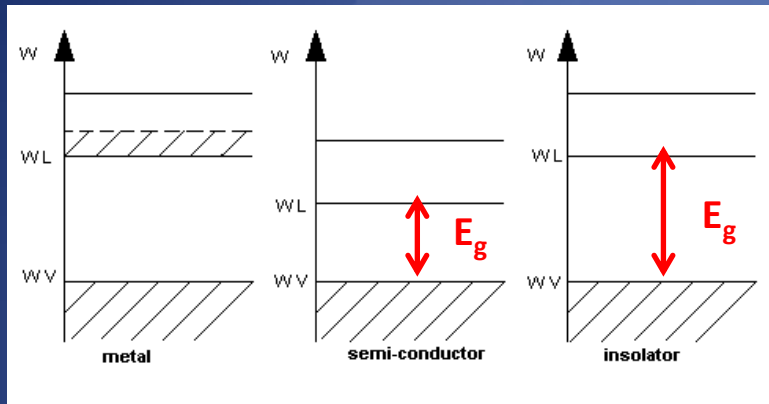
Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Ινστιτούτο Θεωρ./Φυσικής Χημείας
(www.laser-applications.eu)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΟΜΙΛΙΑΣ

1. Αρχή λειτουργίας του Φ/Β στοιχείου: το φωτο-ηλεκτρικό φαινόμενο
2. Εξέλιξη της Φ/Β τεχνολογίας
 - 2.1. Φ/Β στοιχεία 1^{ης} γενιάς (μονοκρυσταλλικό πυρίτιο – Si)
 - 2.2. Φ/Β στοιχεία 2^{ης} γενιάς (λεπτά υμένια – thin films)
 - 2.3. Φ/Β στοιχεία 3^{ης} γενιάς (διπλό Φ/Β στοιχείο – tandem)
3. Εφαρμογές των laser στην Φ/Β τεχνολογία

1. Αρχή λειτουργίας του Φ/Β στοιχείου:

Το φωτο-ηλεκτρικό φαινόμενο

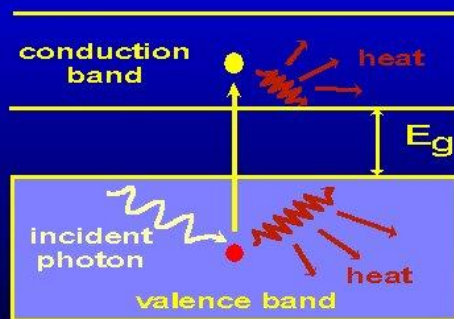


Διαχωρισμός των υλικών σε αγωγούς, ημιαγωγούς και μονωτές.

Τα Φ/Β στοιχεία αποτελούνται από ημιαγωγούς μόνο.

Ημιαγωγοί είναι στοιχεία (Si, Ge), ενώσεις (GaAs, ZnS, CdTe, CuInSe), πολυμερή.

The generation of electron-hole pairs by light



Ένα Φ/Β στοιχείο είναι μία διάταξη που μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρικό ρεύμα.

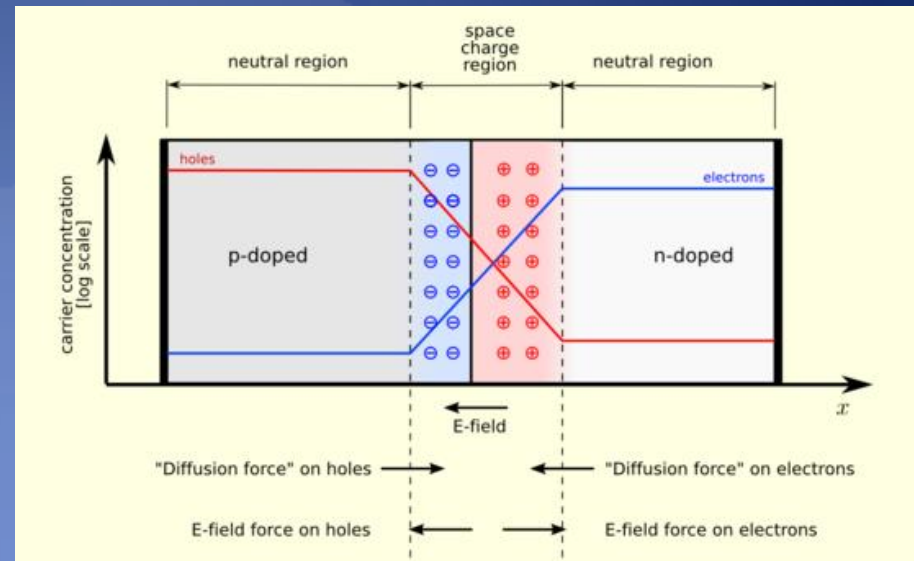
Όταν ένα φωτόνιο απορροφάται από ένα ημιαγωγό και η ενέργειά του είναι μεγαλύτερη από το ενεργειακό χάσμα, παράγεται ένα ζεύγος ηλεκτρονίου/οπής.

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες ενός ημιαγωγού μεταβάλλονται με ελεγχόμενη εμφύτευση άλλων στοιχείων .

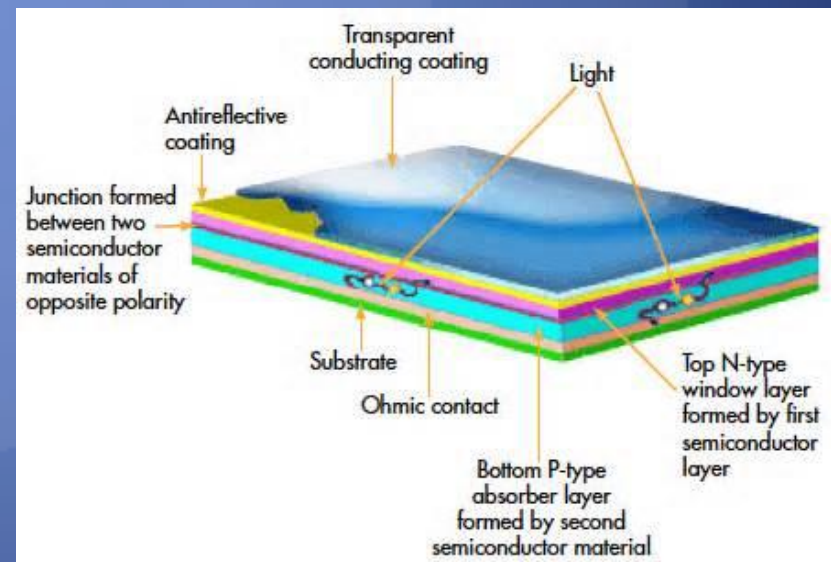
(Al,Ga,In)-Si: ημιαγωγός τύπου n

(P,As,Sb)-Si: ημιαγωγός τύπου p

Μία διεπαφή p/n αποτελεί την βάση ενός Φ/Β στοιχείου.

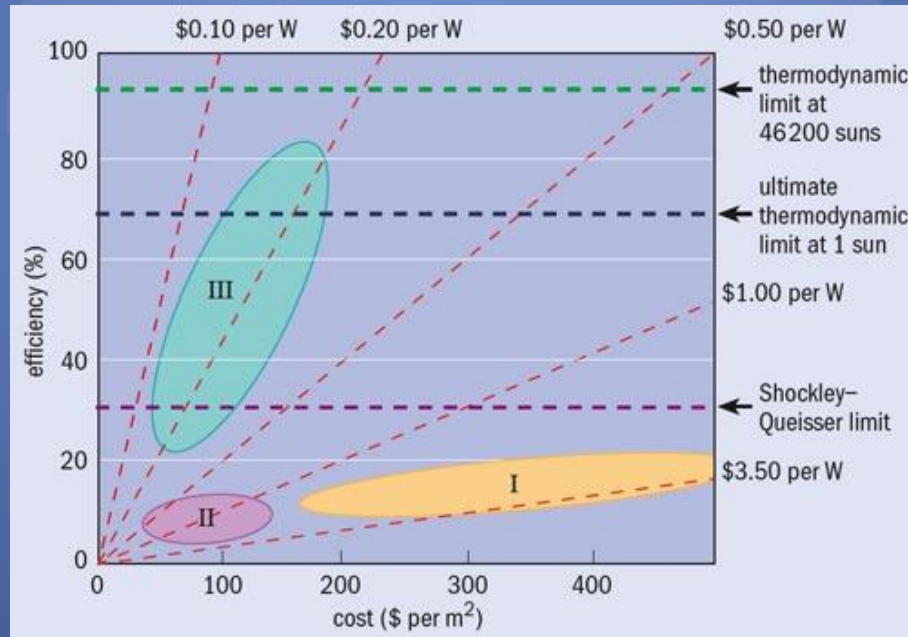


Μια p/n διεπαφή περικλείεται ανάμεσα σε δύο ηλεκτρόδια. Το πάνω ηλεκτρόδιο είναι διαφανές στο ηλιακό φως. Το κάτω ηλεκτρόδιο είναι ένα αδιαφανές μεταλλικό στρώμα



2. Εξέλιξη της Φ/Β τεχνολογίας

- 2.1. Φ/Β στοιχεία 1^{ης} γενιάς (μονοκρυσταλλικό πυρίτιο – Si)
- 2.2. Φ/Β στοιχεία 2^{ης} γενιάς (λεπτά υμένια – thin films)
- 2.3. Φ/Β στοιχεία 3^{ης} γενιάς (διπλό Φ/Β στοιχείο – tandem)



2.1. Φ/Β στοιχεία 1^{ης} γενιάς

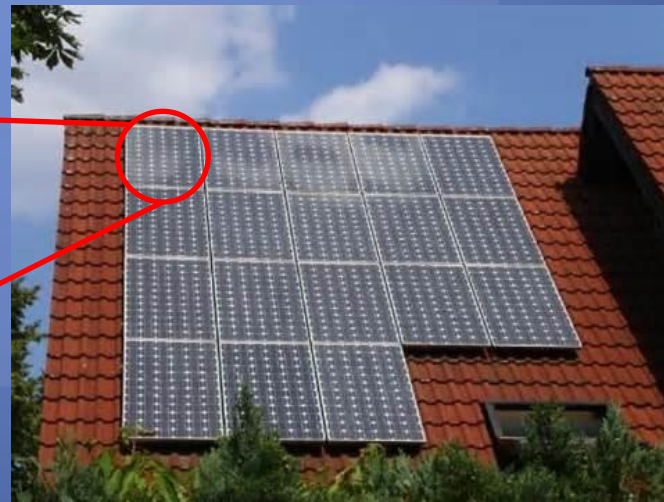
Το Β/Φ στοιχείο αποτελείται από μία λεπτή (~1 mm) p/n διεπιφάνεια μονοκρυσταλλικού Si. Το θεωρητικό όριο απόδοσης είναι περίπου 33%, πρακτικά στο 27% στα εμπορικά συστήματα.

Το Si είναι ηψηλής καθαρότητας, και παράγεται από μια ενεργοβόρο και πολύπλοκη διαδικασία.

Η τεχνολογία αυτή έχει φτάσει στα όρια της και δεν επιδέχεται περαιτέρω ανάπτυξη για ελάττωση του κόστους.

Λόγω του λεπτού πάχους, απαιτούνται σταθερά μεταλλικά πλαίσια για την εγκατάστασή τους ,κάτι που αυξάνει το συνολικό κόστος.

Λόγω της σχετικά μεγάλης απόδοσής τους, κυριαρχούν στην αγορά τα τελευταία 25 χρόνια.



2.2. Φ/Β στοιχεία 2^{ης} γενιάς ((λεπτά υμένια – thin films)

Λεπτά υμένια θεωρούνται υλικά με μία διάσταση («πάχος») μικρότερο από 1 μm (10^{-6} m).

Στόχος είναι η ελάττωση του κόστους παραγωγής (απαιτούμενη μάζα και ενέργεια).

Τρεις είναι οι κατηγορίες τέτοιων υλικών:

(α) ανόργανα υλικά, CdTe, Cu InSe, CuInGa Se

(β) οργανικά υλικά (πολυμερή)

(γ) υβριδικά υλικά (Dye Sensitized Solar Cell – DSSC).

Οι καλύτερες αποδόσεις προέρχονται από το υλικό CIGS το οποίο τα τελευταία χρόνια παράγεται και στην Ελλάδα (Heliosphera, Τρίπολη Αρκαδίας).

Solar cell	Highest reported efficiency (%)
Silicon (single crystal, single cell)	27.6 ±1.0
CIGS (thin film, single cell)	20.3 ±0.6
CdTe (thin film, single cell)	16.7 ±0.5
Dye-sensitized (single cell)	11.2 ±0.3
Organic polymer (single cell)	8.3 ±0.3
InGaP/GaAs/InGaAs (tandem cell)	42.3 ±2.5

Πλεονεκτήματα των Φ/Β στοιχείων λεπτών υμενίων:

- Έχουν μεγαλύτερο συντελεστή απορρόφησης του ηλιακού φάσματος.
- Μόνο με 1-2 μm πάχος έχουν σχετικά καλές απόδόσεις (500-800 μm του Φ/Β c-Si).
- Έχουν λιγότερο βάρος και τα μεταλλικά πλαίσια στήριξης έχουν μικρότερο κόστος.
- Η διαδικασία παραγωγής είναι καλύτερα ελεγχόμενη και μπορεί να αυτοματοποιηθεί.
- Μπορούν να εναποτεθούν πάνω σε εύκαμπτα υποστρώματα που βρίσκουν τεράστιες εφαρμογές



Δομή ενός Φ/Β στοιχείου λεπτών ημενίων:

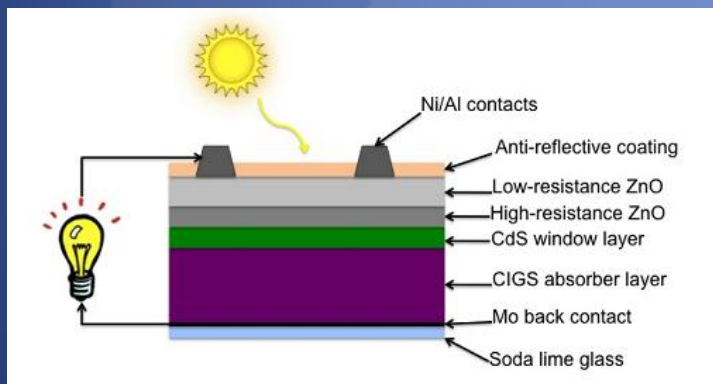
Ένα Φ/Β στοιχείο λεπτών υμενίων αποτελείται από τρία στρώματα πάνω σε ένα υπόστρωμα γυαλιού ή εύκαμπτου υλικού (π.χ. PET).

(1) Ένα διαφανές ημιαγώγιμο υλικό (transparent conductive oxide -TCO), όπως ITO, ZnO, SnO₂.

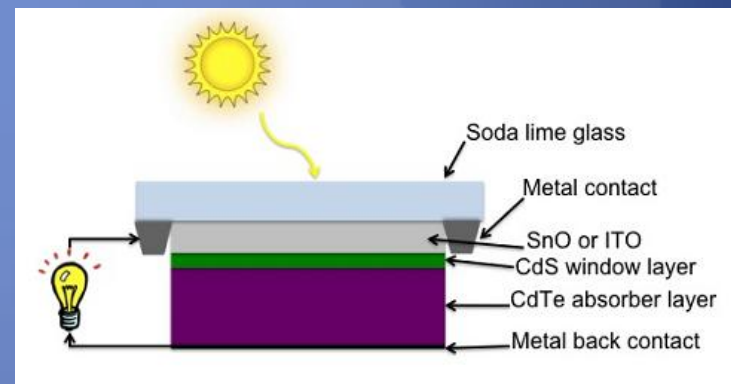
(2) Την p/n διεπιφάνεια, όπως CdS/CdTe, CIGS/CdS κ.α.

(3) Μεταλλικό πίσω ηλεκτρόδιο, από Al, Au ή Mo

Μερικά παραδείγματα:



p/n-CIGS/CdS Φ/Β στοιχείο



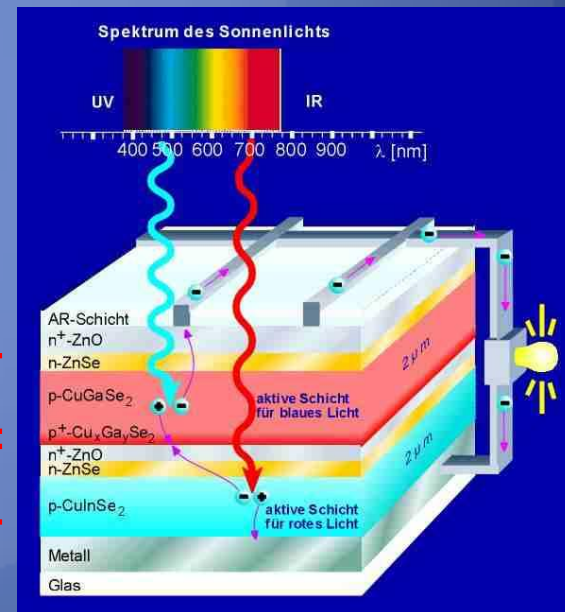
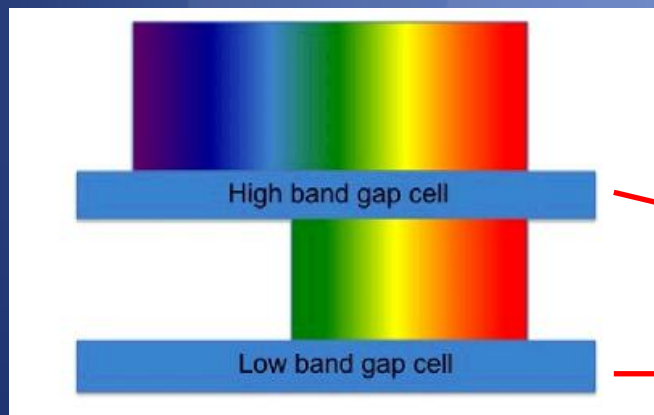
p/n-CdTe/CdS Φ/Β στοιχείο

2.3. Φ/Β στοιχεία 3^{ης} γενιάς (διπλό Φ/Β στοιχείο – tandem)



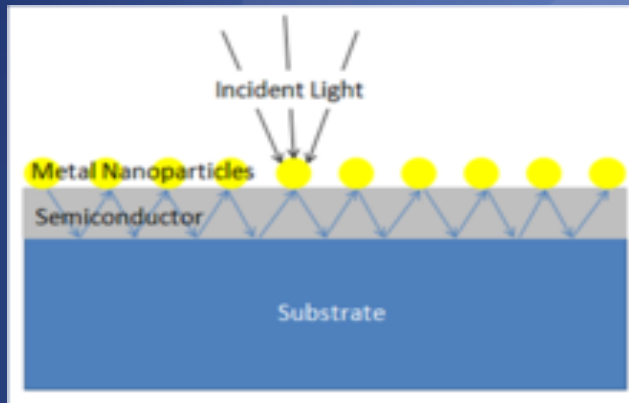
Η 3^η γενιά είναι η εξέλιξη των Φ/Β στοιχείων λεπτών υμενίων .
Στοχεύει στην αύξηση της απόδοσης σε επίπεδα μέχρι 60%.
Επιδιώκει το μικρό βάρος και το σχετικά χαμηλό κόστος παραγωγής.
Η 3^η γενιά βρίσκεται σε ακόμα σε εργαστηριακό επίπεδο.

Αρχή λειτουργίας Φ/Β 3^{ης} γενιάς



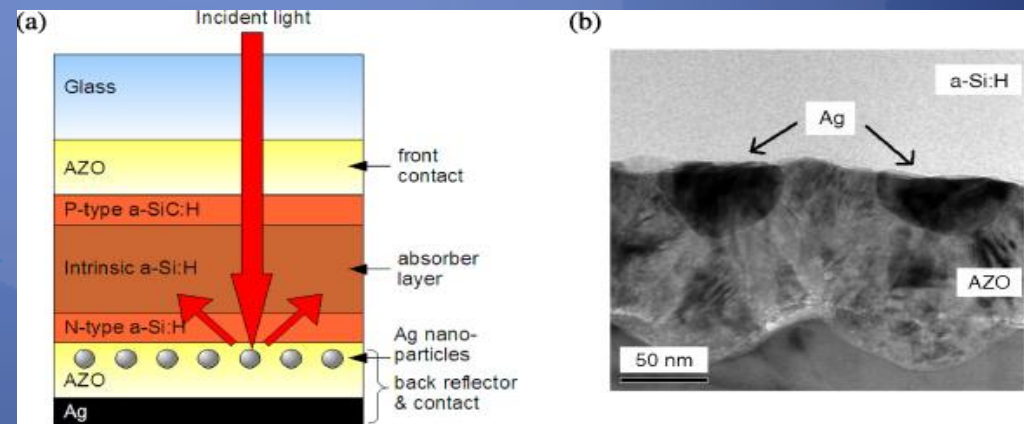
3. Εφαρμογές των laser στην Φ/Β τεχνολογία

1. Αύξηση απόδοσης Φ/Β στοιχείου διαμέσου μερικής κάλυψης με μεταλλικά νανοσωματίδια ($\Delta < 100$ nm) με χρήση laser (light trapping)

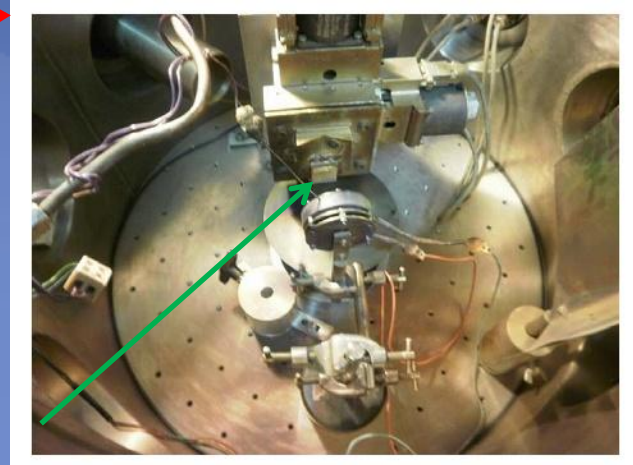
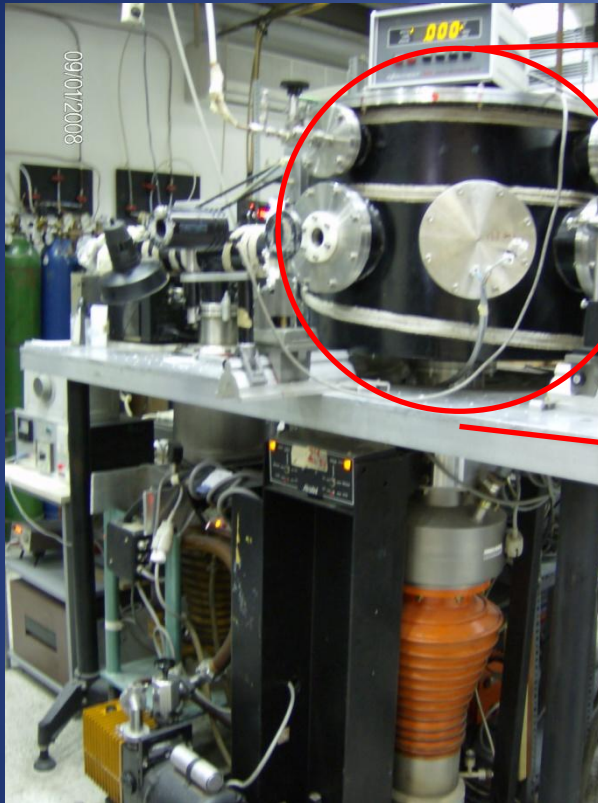


Νανοσωματίδια πάνω στο διαφανές ηλεκτρόδιο

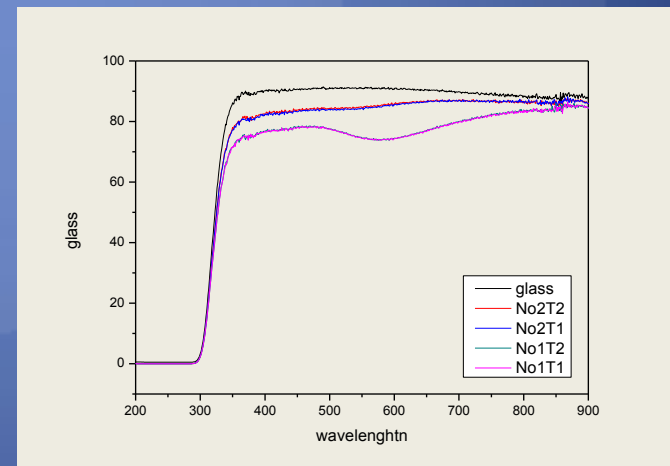
Νανοσωματίδια πάνω στο πίσω ηλεκτρόδιο



Διάταξη εναπόθεσης λεπτών υμενίων και νανοσωματιδίων με παλμικό laser (εργαστήριο Τεχνικών και εφαρμογών laser του ΙΘΦΧ/ΕΙΕ)

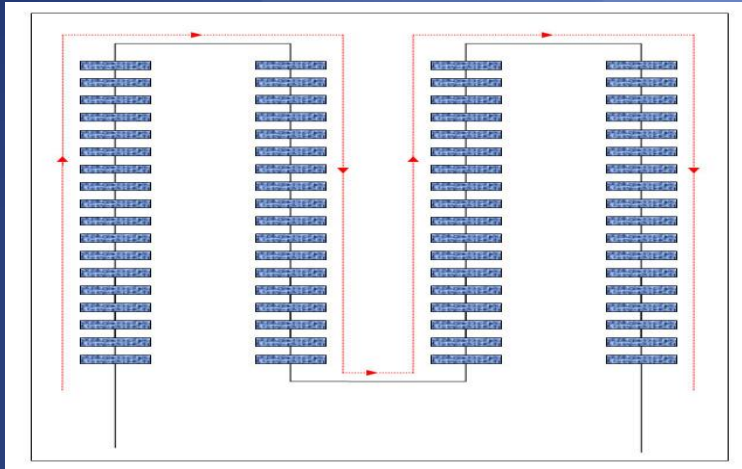


Διαπερατότητα δείγματος με μερική κάλυψη με Au NPs

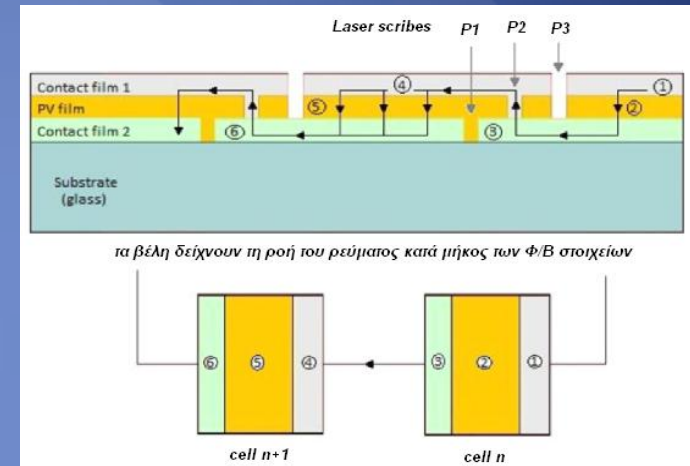


2. Ηλεκτρική διασύνδεση των Φ/Β στοιχείων κατά την διαδικασία εναπόθεσης των στρωμάτων των λεπτών υμενίων (μικροεγχάραξη με laser)

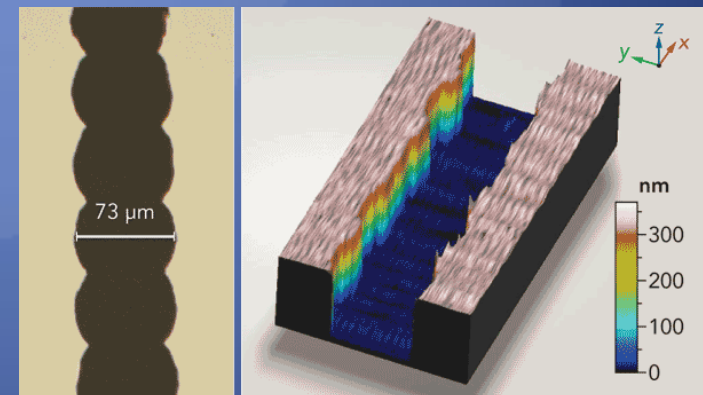
Ηλεκτρική διασύνδεση Φ/Β στοιχείων Si (1^{ης} γενιάς)



Ηλεκτρική διασύνδεση Φ/Β στοιχείων λεπτών υμενίων

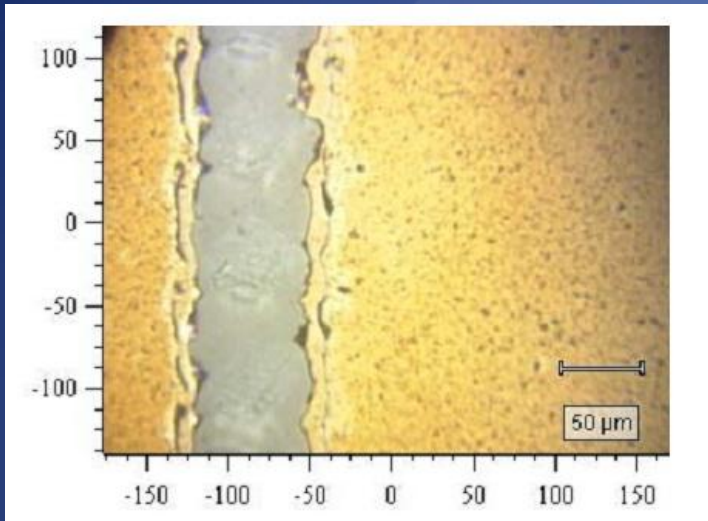


Κανάλια μικροεγχάραξης με laser



Μικροεγχάραξη με laser στο εργαστήριο του ΙΘΦΧ/ΕΙΕ

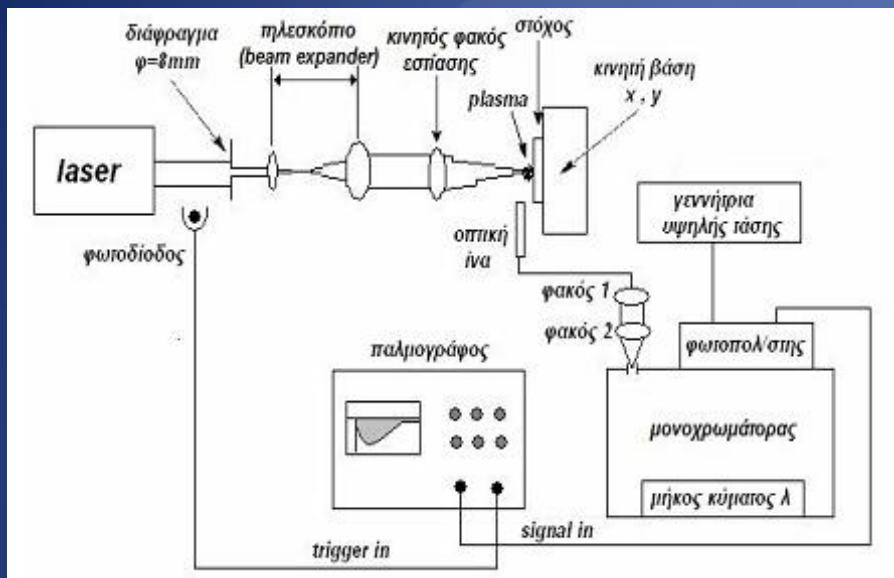
Μικροεγχάραξη υμενίου Mo πάνω σε υπόστρωμα γυαλιού.



Καταγραφή του προφίλ της εγχάραξης του υμενίου Mo πάχους 400 nm με Μικροσκοπία Ατομικής Δυναμης (AFM).



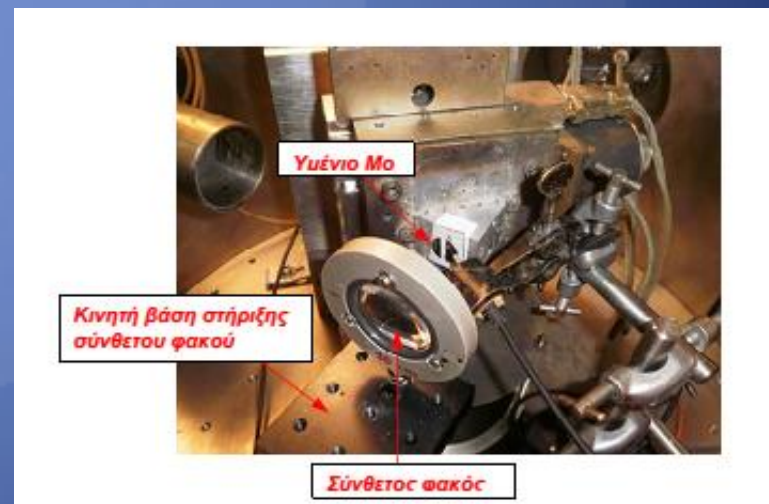
On-line διαγνωστική για βελτιστοποίηση και έλεγχο της μικροεγχάραξης



Η απόσταση του φακού εστίασης από το υμένιο είναι κρίσιμη για το πλάτος του καναλιού στην περιοχή 40-60 μm .

Η ρύθμιση αυτή επιτυγχάνεται με την καταγραφή σε πραγματικό χρόνο μιας δυνατής εκπομπής του υλικού του υμενίου με την τεχνική LIPS.

Πειραματική μικροδιάταξη μικροεγχάραξης





ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ