



ΝΕΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΓΙΑ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ & ΥΨΗΛΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Π. Κοράλλη¹, S. Fiat⁴, M. Κομπίτσας², İ. Polat³, E. Bacaksiz³ και
Δ. Ε. Μανωλάκος¹

¹Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

² Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Ινστιτούτο Θεωρ. κ. Φυσικής Χημείας, Αθήνα

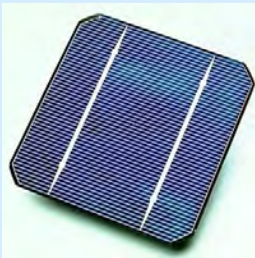
www.laser-applications.eu

³Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Turkey

⁴Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Turkey

Η σημερινή αγορά Φ/Β κυριαρχείται από
συμβατικές τεχνολογίες πυριτίου (Si).

Άμορφο



Μονοκρυσταλλικό



Πολυκρυσταλλικό



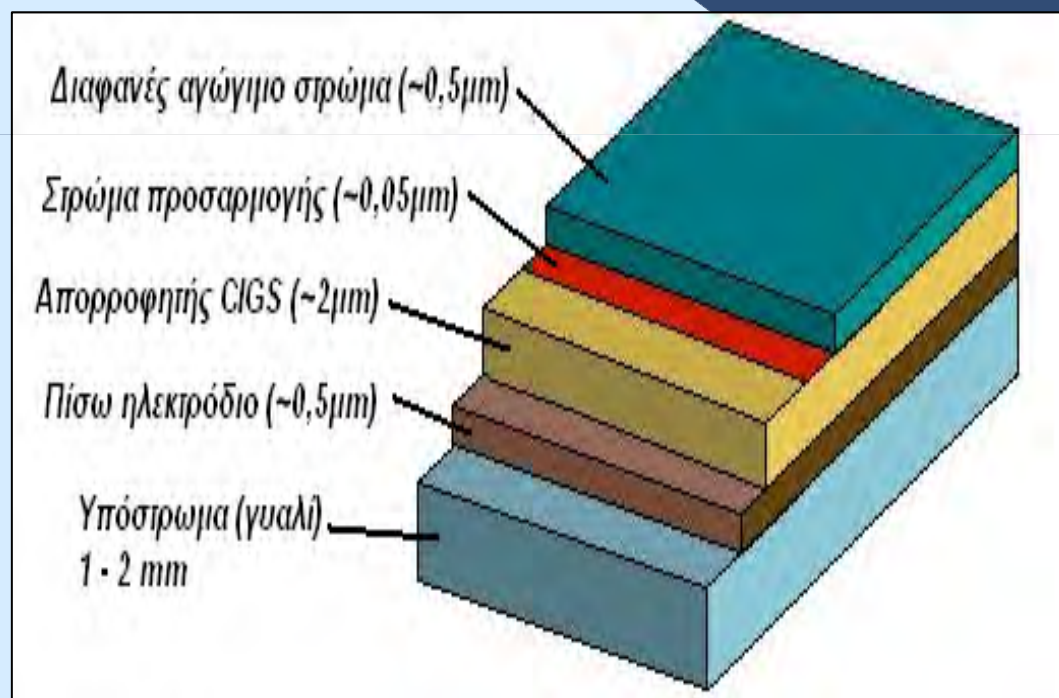
Η χρήση των ΛΕΠΤΩΝ ΥΜΕΝΙΩΝ (THIN FILMS) στη φωτοβολταϊκή
τεχνολογία γίνεται για:

- ✓ Μείωση πάχους
- ✓ Μείωση βάρους
- ✓ Μείωση κόστους



Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟ ΛΕΠΤΩΝ ΥΜΕΝΙΩΝ ΧΑΛΚΟΠΥΡΙΤΩΝ (CIGS)

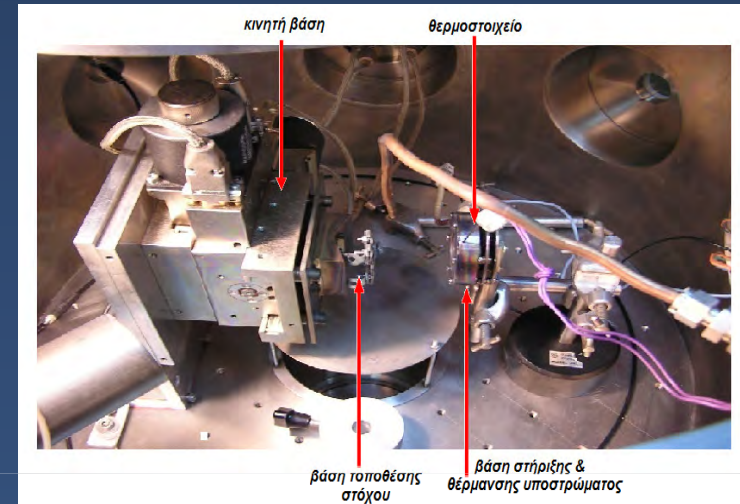
- ✓ Σύνθετες ενώσεις χαλκού (Cu), ινδίου (In), γαλλίου (Ga) και σεληνίου (Se)
- ✓ Δυνατότητα πολλών διαφορετικών συστάσεων.
- ✓ Παρουσιάζουν καλή απορρόφηση του ηλιακού φάσματος.
- ✓ Επιτυγχάνεται μεγάλο εύρος ενεργειακών διακένων (1 – 1.7 eV).
- ✓ Βαθμός Απόδοσης ~20%.



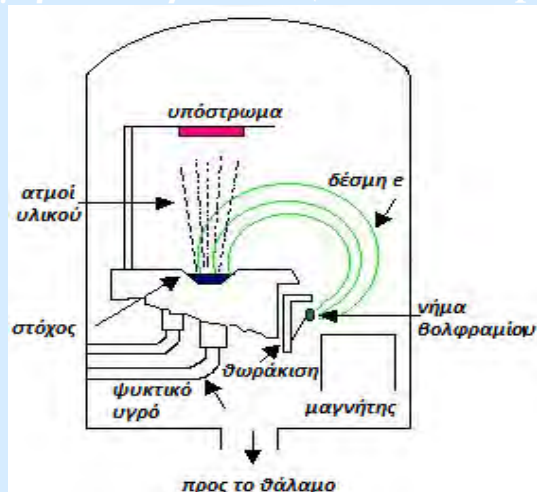
- **Mo**: οπίσθια επαφή – ανακλαστήρας
- **CIGS**: Απορροφητής – ενεργή περιοχή Φ/Β
- **ZnSe**: Στρώμα προσαρμογής
- **ZnO**: Διαφανές αγώγιμο οξείδιο, διαπερατό από την ηλιακή ακτινοβολία.
- **AZO**: Πρόσθια ηλεκτρική επαφή

ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΛΕΠΤΩΝ ΥΜΕΝΙΩΝ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΟΥ

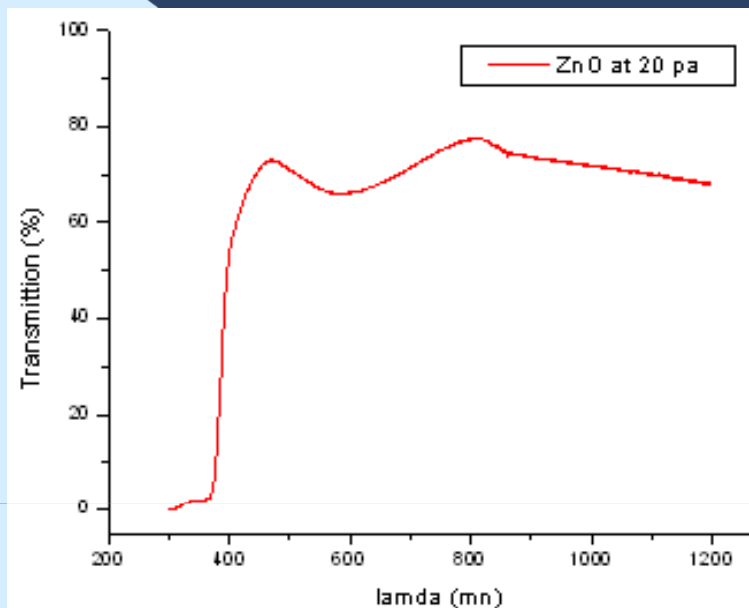
Η κατασκευή των λεπτών υμενίων Mo, ZnO και AZO πραγματοποιείται με τη μέθοδο της *Παλμικής Εναπόθεσης με Laser (PLD)* στην Αθήνα.



Η κατασκευή των λεπτών υμενίων ZnSe και CIGS πραγματοποιείται με τη μέθοδο της *Εξάχνωσης με Δέσμη Ηλεκτρονίων (e-beam evaporation)* στην Τουρκία.



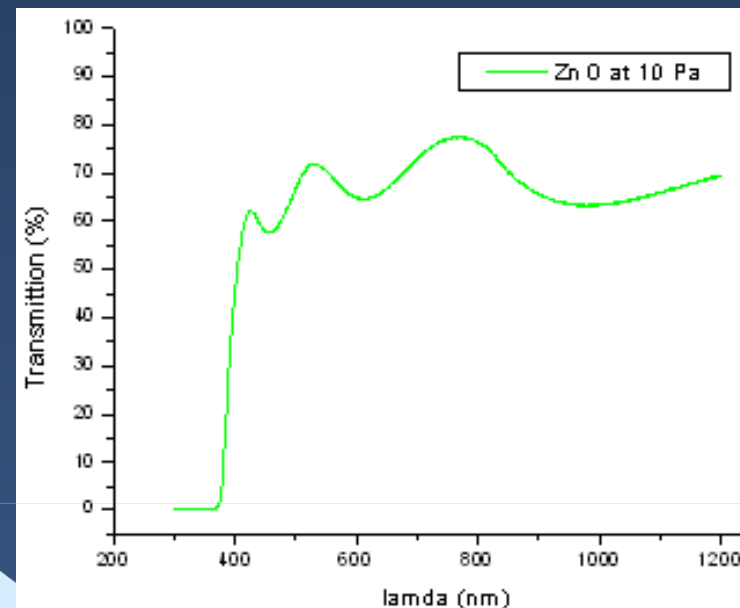
ΟΠΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΛΕΠΤΩΝ ΥΜΕΝΙΩΝ ZnO (ΠΡΟΣΘΙΑ ΕΠΑΦΗ Φ/Β)



Πάχος υμενίου: 350 nm

Προϋποθέσεις:

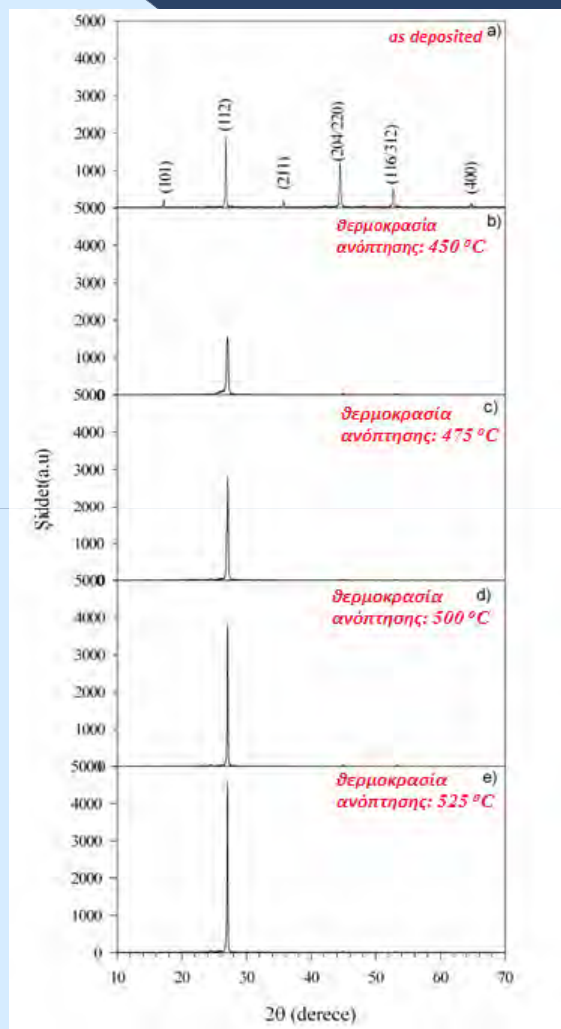
- Καλή διαπερατότητα (~80 %)
- Καλή αγωγιμότητα.



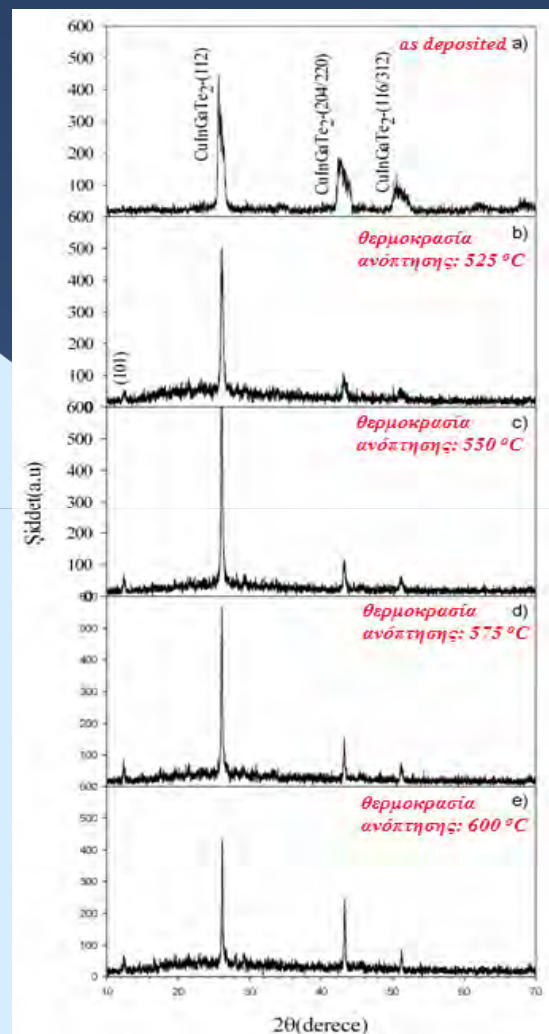
Πάχος υμενίου: 500 nm

Με πρόσμιξη Al 1 – 2 %/w, δημιουργούμε το πρόσθιο ηλεκτρόδιο και βελτιώνουμε την αγωγιμότητα του υμενίου κατά ένα συντελεστή ~10.

ΜΕΛΕΤΗ ΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΗΣ ΔΟΜΗΣ ΛΕΠΤΩΝ ΥΜΕΝΙΩΝ CIGS (ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΣ Φ/Β)



$x=0$ (μόνο Se)



$x=1$ (μόνο Te)

Χημικός Τύπος:



Για $x=0$:

- Κρυστάλλωση προς μία κατεύθυνση.

Για $x=1$:

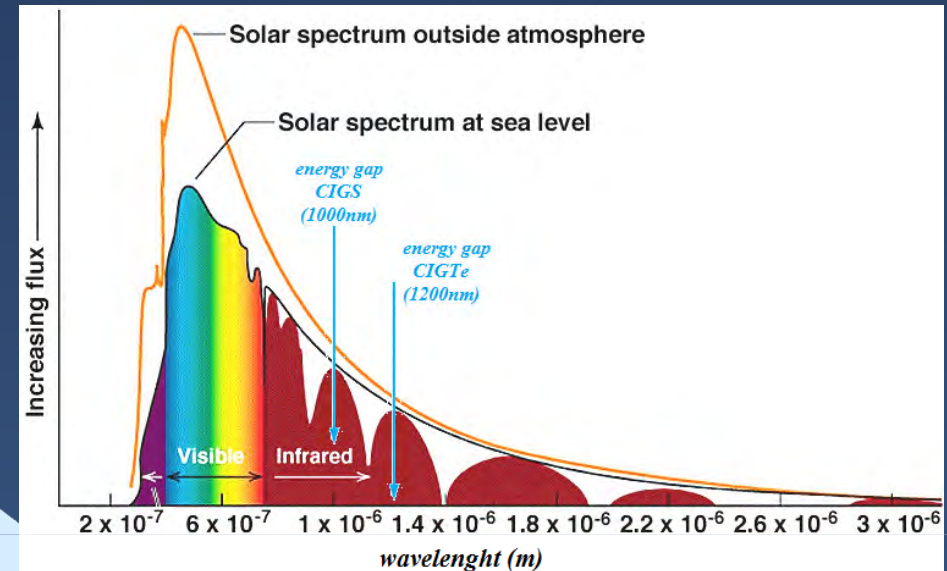
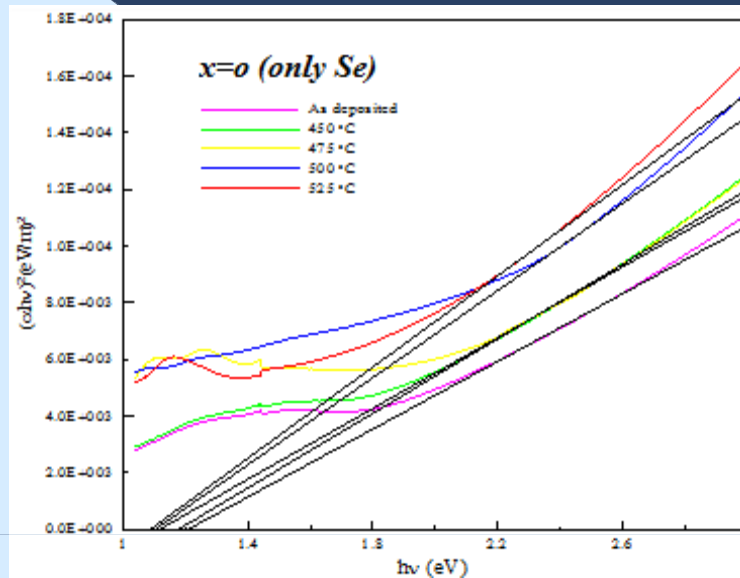
- Άμορφη φάση.
- Κρυστάλλωση προς διάφορες κατευθύνσεις.

Μέσο Μέγεθος Κόκκων:

14 nm

$$d = \frac{0.94 \cdot \lambda}{(FWHM) \cdot \cos \theta_B}$$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΥ ΔΙΑΚΕΝΟΥ ΛΕΠΤΩΝ ΥΜΕΝΙΩΝ CIGS (ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗΣ Φ/Β)

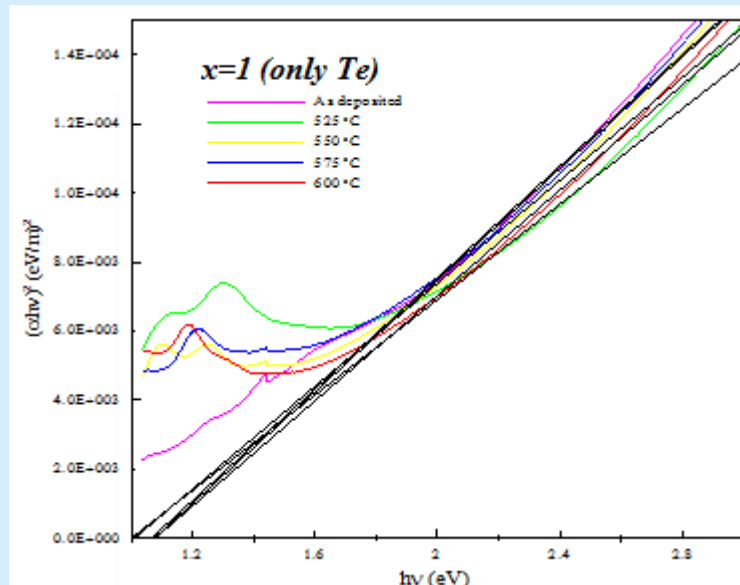


Φάσμα Ηλιακού Φωτός

Όσο **ΜΙΚΡΟΤΕΡΟ** το ενεργειακό διάκενο



Τόσο **ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΗ** η απορρόφηση της
ηλιακής ακτινοβολίας



ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (1)

Ο κλασικός τρόπος διασύνδεσης των Φ/Β στοιχείων *εν σειρά* γίνεται με *ηλεκτρική μικρο-συγκόλληση*.

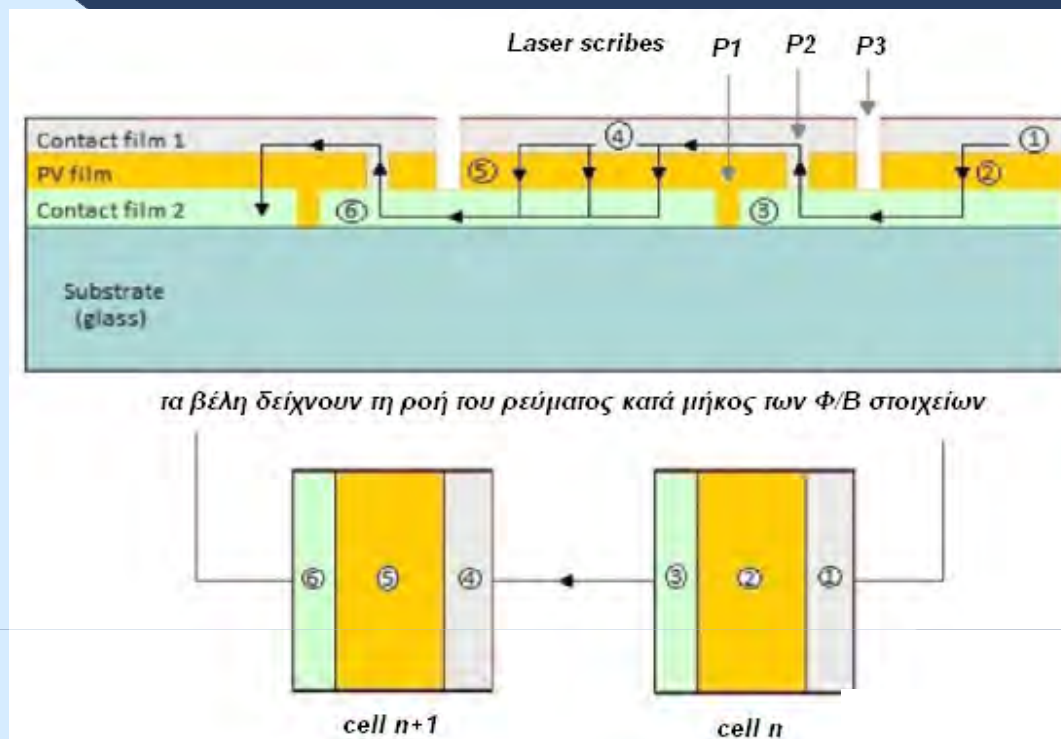
Η εγχάραξη των λεπτών υμενίων με laser (*laser scribing*) αποτελεί τη μετάβαση από μεμονωμένα Φ/Β στοιχεία στη *μονολιθική τους ολοκλήρωση σε μεγάλης επιφάνειας Φ/Β πάνελ*.



ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ:

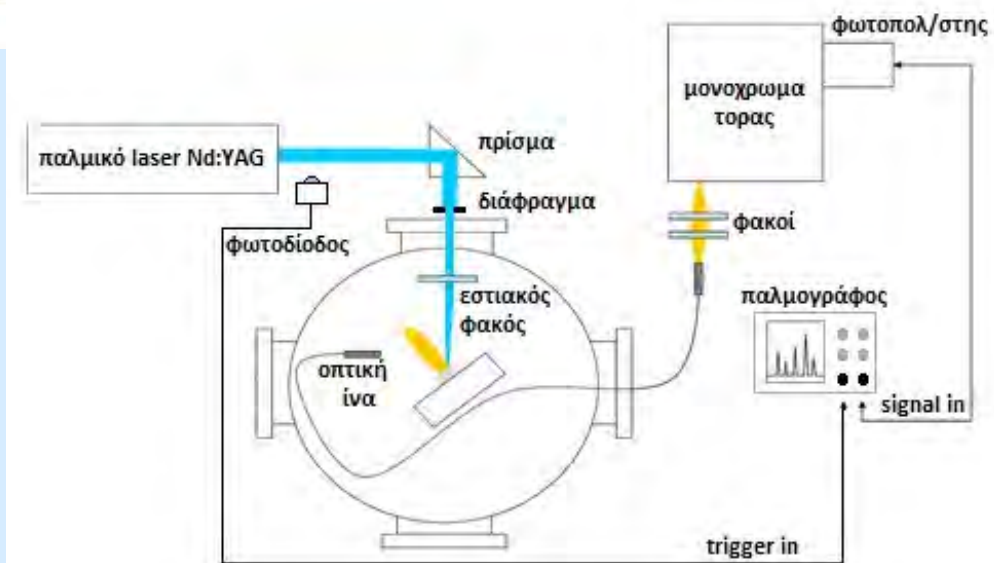
- Η διασύνδεση των Φ/Β στοιχείων γίνεται με την ελάχιστη απώλεια υλικού.
- Το στάδιο της διασύνδεσης των στοιχείων εντάσσεται στα πλαίσια της παραγωγικής διαδικασίας

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ (2)

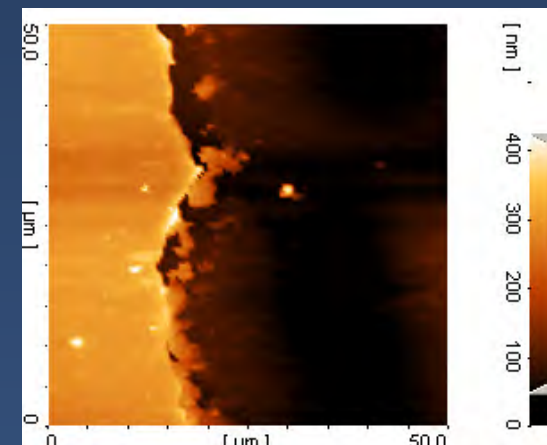
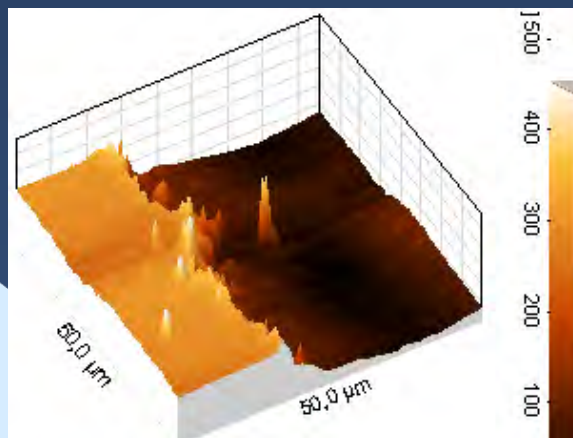
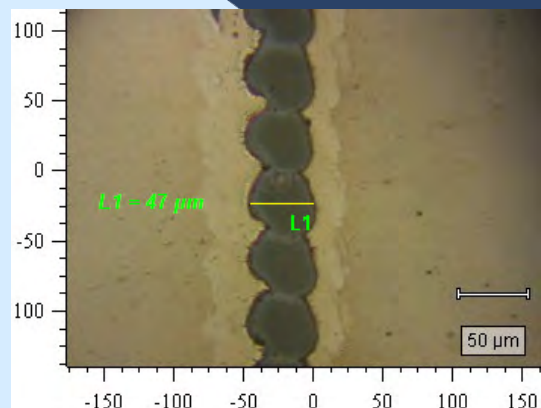


- **P1**: Χωρίζει τα Φ/Β στοιχεία στο πίσω ηλεκτρόδιο.
- **P2**: Καθοδηγεί τη ροή το ρεύματος από το ένα στοιχείο στο άλλο, ενώνοντάς τα.
- **P3**: Κόβει το πρόσθιο ηλεκτρόδιο και μονώνει από πάνω το στοιχείο, ενώ ολοκληρώνει την διασύνδεση των στοιχείων του Φ/Β πλαισίου.

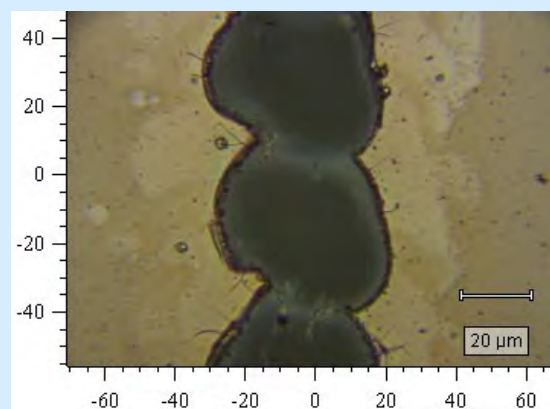
Διάταξη Εγχάραξης
Λεπτών Υμενίων



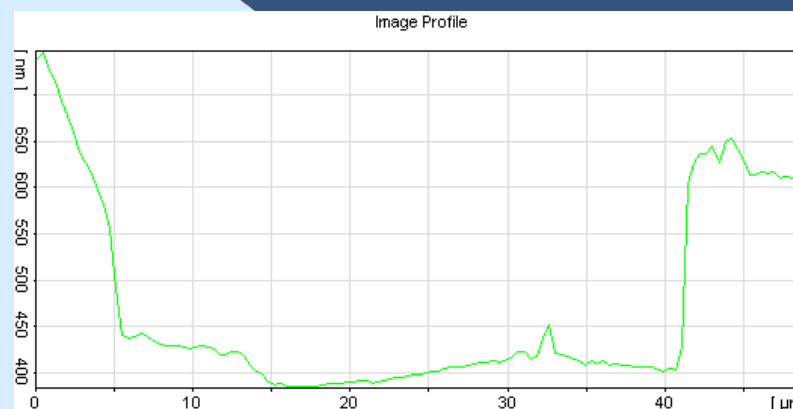
ΕΓΧΑΡΑΞΗ ΛΕΙΠΤΩΝ ΥΜΕΝΙΩΝ Μο (ΟΠΙΣΘΙΑ ΕΠΑΦΗ)



Ατομικό Μικροσκόπιο Δυνάμεων (AFM)



Οπτικό μικροσκόπιο



Προφίλ καναλιού εγχάραξης

*Ευχαριστώ για την
προσοχή σας!*