

ΝΑΝΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

(Πειραματικό μέρος)

Καθαροί Εργαστηριακοί Χώροι Εργαστήριο Νανοτεχνολογίας Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Προεργασίες

Στάδια Εγκατάστασης

Χαρακτηριστικά Λειτουργίας

Προδιαγραφές Καθαρότητας

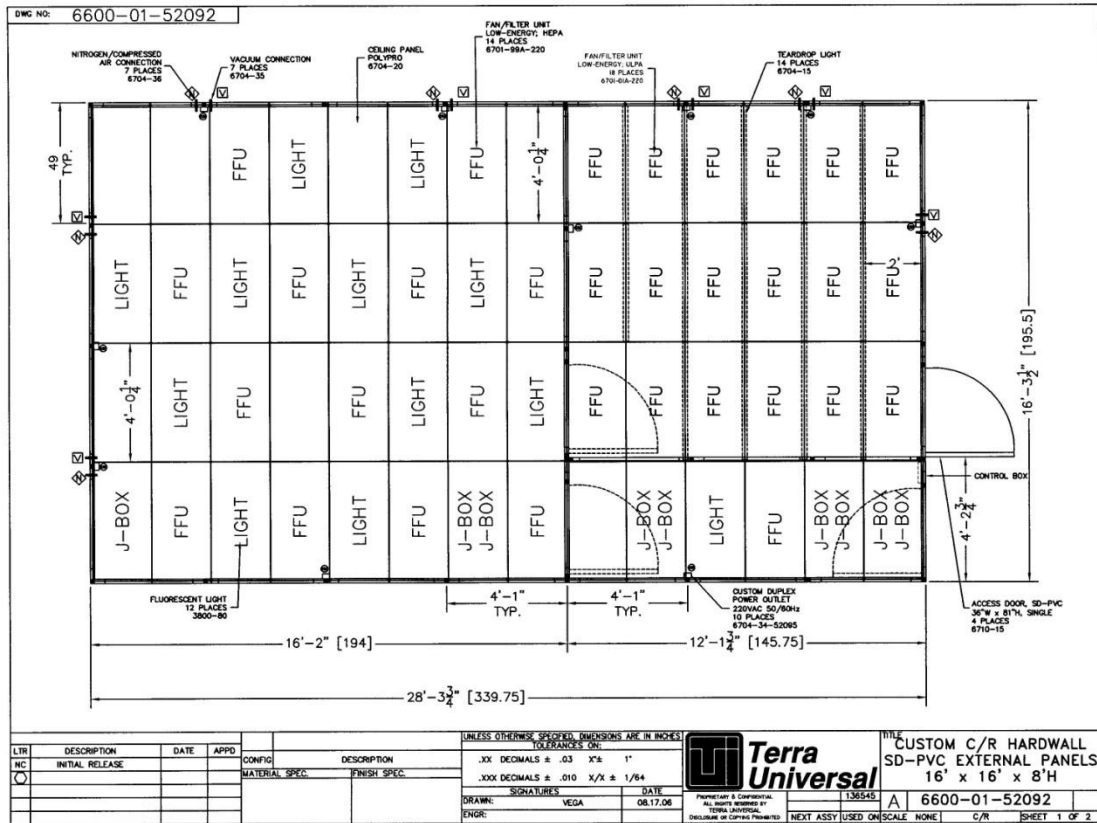
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων

Ελευθέριος Σκούρας

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης Υλικών.

Αρχιτεκτονικό σχέδιο της οροφής των καθαρών θαλάμων.



Τι είναι ένας καθαρός θάλαμος;

A room in which the concentration of airborne particles is controlled and which is constructed and used in a manner to minimise the introduction, generation, and retention of particles inside the room and in which other relevant parameters, e.g. temperature, humidity, and pressure are controlled as necessary.

International Organization for Standardization (ISO)
Standard 14644-1 : Classification of air cleanliness

Clean Room Classification

ISO Class Fed Std Class	Maximum Number of Particles in Air (particles allowed in each cubic <i>meter</i> equal to or greater than the specified size)					
	Particle size					
	> 0.1 μm	> 0.2 μm	> 0.3 μm	> 0.5 μm	> 1 μm	> 5 μm
ISO Class 1	10	2				
ISO Class 2	100	24	10	4		
ISO Class 3 FS Class 1	1000	237	102	35	8	
ISO Class 4 FS Class 10	10,000	2,370	1,020	352	83	
ISO Class 5 FS Class 100	100,000	23,700	10,200	3,520	832	29
ISO Class 6 FS Class 1,000	1,000,000	237,000	102,000	35,200	8,320	293
ISO Class 7 FS Class 10,000				352,000	83,200	2930
ISO Class 8 FS Class 100,000				3,520,000	832,000	29,300
ISO Class 9				35,200,000	8,320,000	293,000















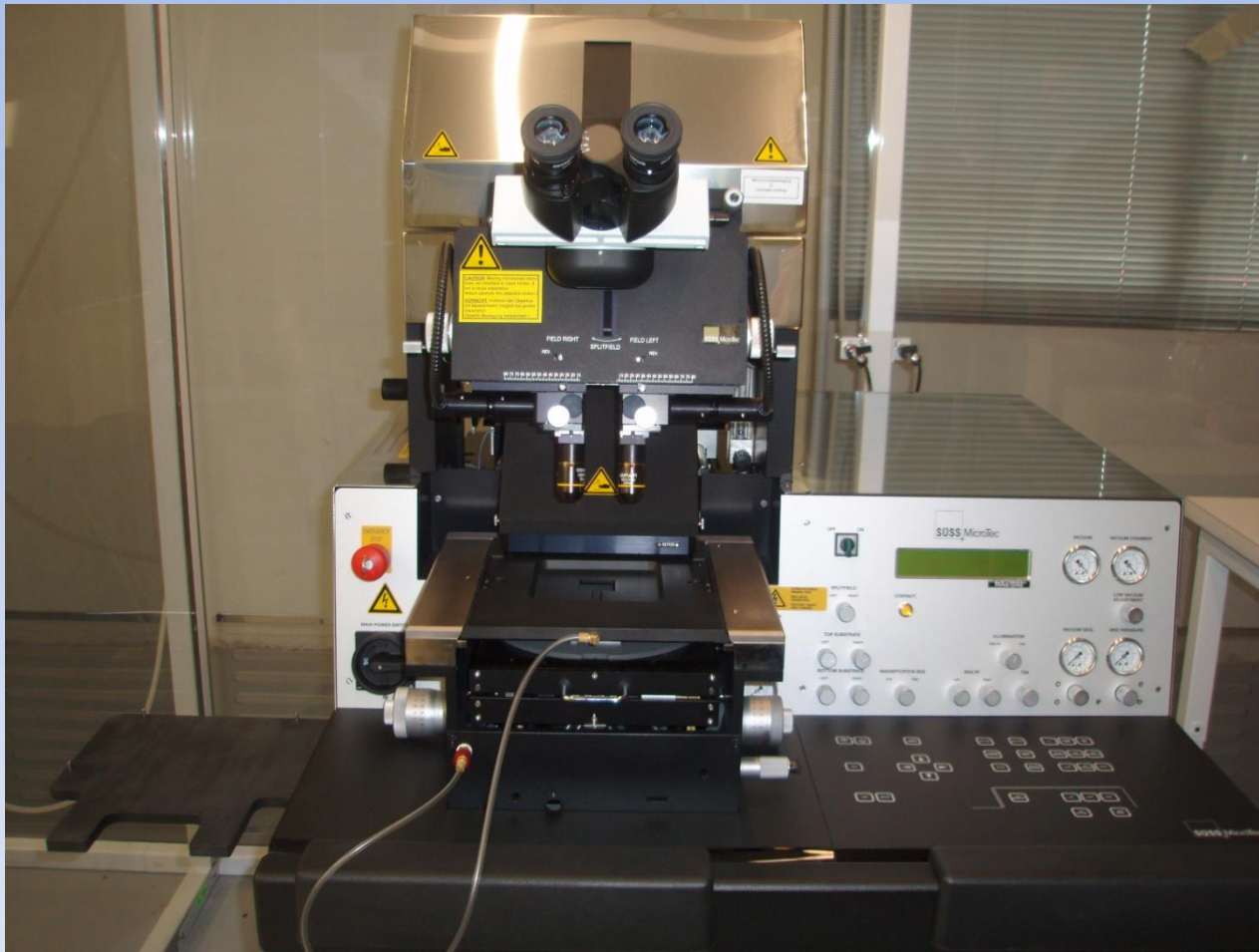




Κύριος Εξοπλισμός
Εργαστηρίου Νανοτεχνολογίας
Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Σύστημα Οπτικής Λιθογραφίας
Εξαχνωτής με Δέσμη Ηλεκτρονίων
Σύστημα Ταχείας Θερμικής Ανόπτωσης
Modular Wet Processing Stations

Σύγχρονο Σύστημα Οπτικής Λιθογραφίας Mask Aligner – MA6 - Suss MicroTeck



Electron Beam Evaporator AUTO 500 - BOC Edwards

600 l/s diffusion pump

EB3 3kW EB power supply

EB3 Multiearth Electron Beam
Evaporation Source

EB3 Beam Sweep Unit

Manual Source Shutter

Graphite Liner for EB3 4cc Crucible

Molybdenum Liner for EB3 4 cc
Crucible

Intermetalliv Liner for EB3 4cc
Crucible

FMT7 Film Thickness Monitor

FTM5/6/7 Oscillator and Cable

FTM5/6/7 Water-cooled Crystal
Holder





Rapid Thermal Processor AS-One 150 ANNEALSYS



Clean room modular wet processing stations (Class 100).
Two HEPA filter fun units on top of each cabinet.
Nanotechnology Laboratory - University of Ioannina



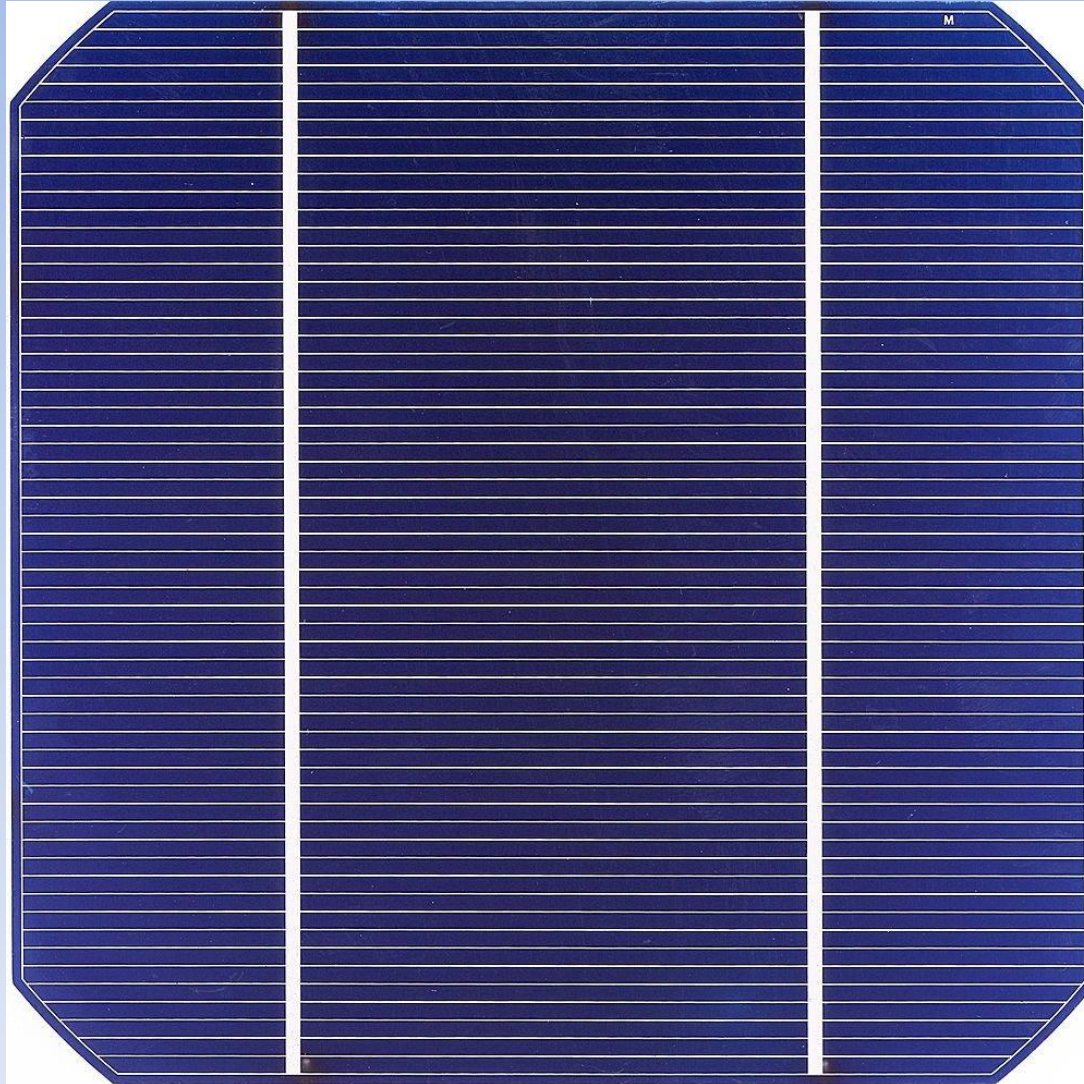
Lithography Techniques

- Optical Lithography
- Electron Beam Lithography
 - X-ray Lithography
- Nano-Imprint Lithography

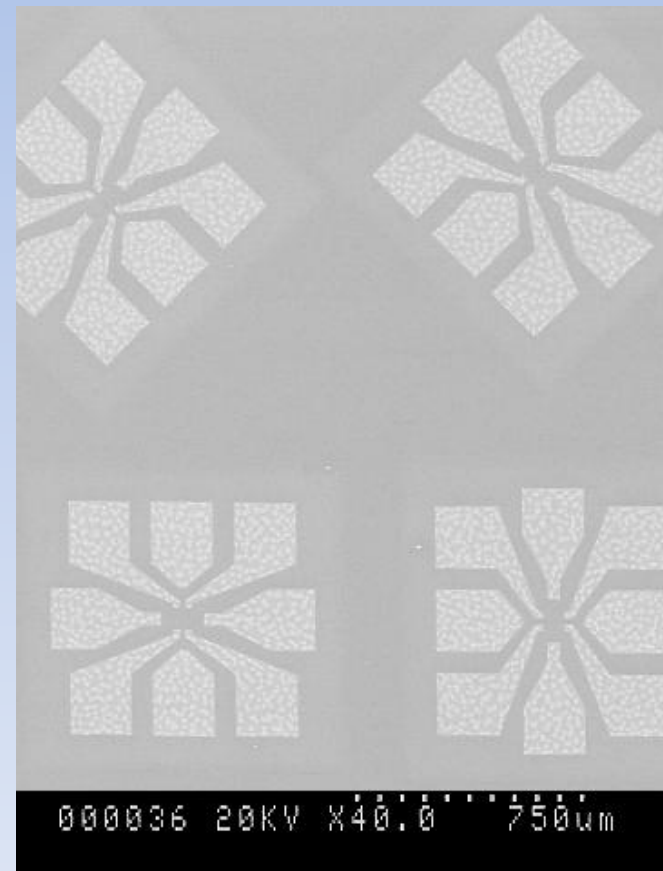
Τεχνικές Λιθογραφίας

- Οπτική Λιθογραφία
- Λιθογραφία με Δέσμη Ηλεκτρονίων
 - Λιθογραφία Ακτίνων Χ
- Λιθογραφία Νανοαποτύπωσης

Ωμικές επαφές ηλιακών κυττάρων πυριτίου.
Ράβδοι συλλογής ηλεκτρικού ρεύματος – μεταλλικό πλέγμα.



Ohmic contacts of Hall bars fabricated along different crystallographic directions on GaAs/AlGaAs HEMTs.




**Κατασκευή Ωμικών Επαφών.
Fabrication of Ohmic Contacts.
Διάγραμμα Ροής.**

Διαδοχικές διεργασίες για την
κατασκευή ωμικών επαφών
ηλεκτρονικών διατάξεων.

Καθαρισμός του δείγματος.
Sample Cleaning.



Ομοιόμορφη επικάλυψη του
δείγματος με φωτοευαίσθητη ουσία
δια περιστροφής.
Photoresist coating - Spin coating.



Προόπτωση Prebake

Έκθεση συγκεκριμένων περιοχών της φωτοευαίσθητης ουσίας, που καλύπτει την επιφάνεια του δείγματος, σε υπεριώδη ακτινοβολία.
Οπτική Λιθογραφία.

Διάλυση σε κατάλληλο χημικό διάλυμα των περιοχών της φωτοευαίσθητης ουσίας που εκτέθηκαν σε υπεριώδη ακτινοβολία.


Development




Resist Stripping
(το βήμα αυτό είναι προαιρετικό στην κατασκευή ωμικών επαφών)




Μετόπτηση
(το βήμα αυτό είναι επίσης προαιρετικό στην
κατασκευή ωμικών επαφών)
Postbake



Εναπόθεση μεταλλικού ή διαδοχικών
μεταλλικών υμενίων για την κατασκευή των
ωμικών επαφών της ηλεκτρονικής διάταξης.
Electron Beam Evaporation



Διάλυση σε ακετόνη των περιοχών της
φωτοευαίσθητης ουσίας, που δεν
εκτέθηκαν σε υπεριώδη ακτινοβολία,
συμπαρασύρει τα υπερκείμενα μεταλλικά
υμένια.
Lift-off



Ταχεία Θερμική Ανόπτηση
Rapid Thermal Annealing

Ηλεκτρικός χαρακτηρισμός
των ωμικών επαφών μεταξύ των
μεταλλικών υμενίων και του
ημιαγώγιμου υλικού.

Καταγραφή πειραματικών
δεδομένων και Θεωρητική
ανάλυση


Χημική Εγκάραξη Υμενίου. Διάγραμμα Ροής.

Διαδοχικές διεργασίες για την ξηρή ή υγρή χημική εγκάραξη προκαθορισμένων περιοχών της επιφάνειας δείγματος.

Καθαρισμός του δείγματος.
Sample Cleaning




Ομοιόμορφη επικάλυψη του δείγματος
με φωτοευαίσθητη ουσία δια
περιστροφής.
Photoresist Coating – Spin Coating



Προόπτηση.
Prebake



Οπτική Λιθογραφία –
Έκθεση συγκεκριμένων περιοχών της
φωτοευαίσθητης ουσίας που
καλύπτει την επιφάνεια του
δείγματος σε υπεριώδη ακτινοβολία.
Optical Lithography.



Διάλυση των περιοχών της
φωτοευαίσθητης ουσίας που εκτέθηκαν
σε υπεριώδη ακτινοβολία.

Development



Μετόπτηση
Postbake



Ξηρή ή Υγρή Χημική Εγχάραξη των περιοχών
της επιφάνειας του δείγματος που δεν
καλύπτονται από φωτοευαίσθητη ουσία.
Wet or Dry Chemical Etching.



Διάλυση σε ακετόνη της φωτοευαίσθητης ουσίας
που δεν εκτέθηκε σε υπεριώδη ακτινοβολία.
Για την διάλυση υπολειμμάτων της
φωτοευαίσθητης ουσίας χρησιμοποιείται
πλάσμα οξυγόνου.
Stripping

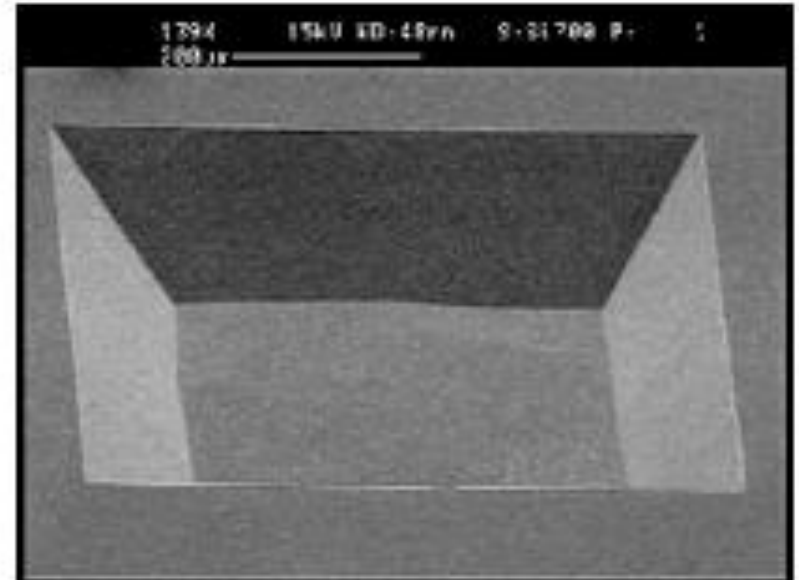
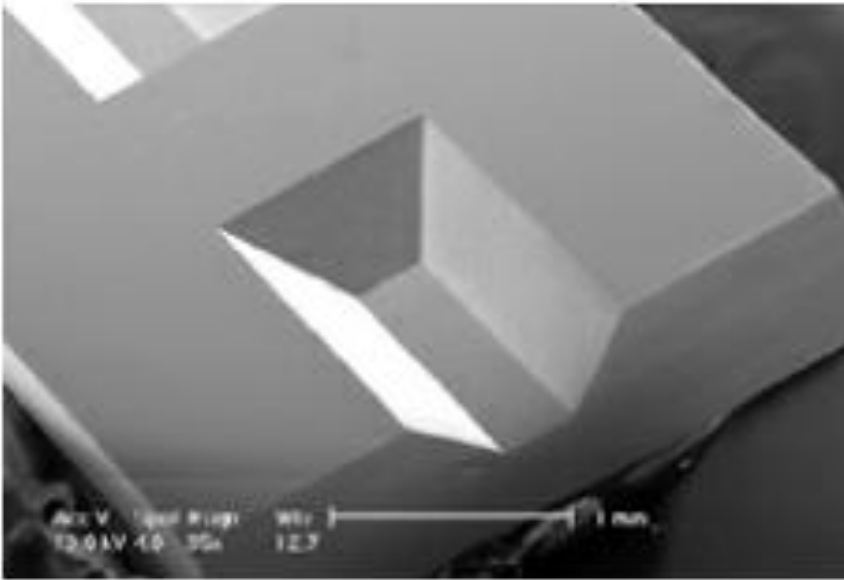
Photoresist development.
Εναπόθεση μεταλλικών υμενίων.
Υγρή ή Ξηρή Χημική Εγχάραξη.

Vertical Walls

Undercuts

Overcuts

Ισοτροπική Υγρή Χημική Εγχάραξη - Μη Ισοτροπική Ξηρή ή Υγρή Χημική Εγχάραξη.



Κύρια συστατικά χημικού διαλύματος που χρησιμοποιείται στην εγχάραξη υλικού.

- **Οξειδωτική ουσία** για την οξείδωση της επιφάνειας του υλικού.
- **Οξύ ή βάση** για την διάλυση της οξειδωμένης επιφάνειας.
- **Διαλυτικό μέσο** για την απομάκρυνση των προϊόντων της χημικής αντίδρασης από την επιφάνεια του υλικού.

Ορισμοί εννοιών χημικής εγχάραξης.

- **Ρυθμός Εγχάραξης** υλικού (etch rate) ορίζεται ως το πάχος του υλικού σε nm ή μm που χαράσσεται ή διαλύεται και απομακρύνεται από την επιφάνειά του ανά μονάδα χρόνου (sec ή min).
- **Επιλεκτική Εγχάραξη** υλικών (selectivity) ορίζεται ως ο λόγος των ρυθμών εγχάραξης δύο διαφορετικών υλικών κατά μήκος της ίδιας κρυσταλλογραφικής διεύθυνσης.
- **Ανισοτροπία** υλικού (anisotropy) ορίζεται ως ο λόγος των ρυθμών εγχάραξης του υλικού κατά μήκος δύο διαφορετικών κρυσταλλογραφικών διευθύνσεών του.

Διαμόρφωση επιφάνειας ηλεκτρονικής διάταξης.

Δημιουργία ανάστροφων
πυραμίδων.

Κατασκευή nanopillars.

Υγρή χημική Εγχάραξη.

Reactive Ion Etching.

Μέθοδος των δομικών και
θυσιαζόμενων υλικών.


Κατασκευή Μικρογέφυρας
(microbridge or airbridge) με
τη μέθοδο των δομικών και
θυσιαζόμενων υλικών.

Διαδοχικά Βήματα
Κατασκευής Μικρογέφυρας.

Καθαρισμός του δείγματος.
Sample Cleaning.



Εναπόθεση υμενίου του θυσιαζόμενου υλικού επί της επιφάνειας του δείγματος.
Layer Deposition of Sacrificial Material.



Ομοιόμορφη επικάλυψη του υμενίου του
θυσιαζόμενου υλικού με φωτοευαίσθητη
ουσία δια περιστροφής.

Photoresist Coating – Spin Coating




Οπτική Λιθογραφία

Έκθεση συγκεκριμένων περιοχών της
φωτοευαίσθητης ουσίας σε υπεριώδη
ακτινοβολία.


Exposure of photoresist to UV radiation.



Διάλυση των περιοχών της φωτοευαίσθητης
ουσίας που εκτέθηκαν σε υπεριώδη
ακτινοβολία.
Development.



Χημική εγχάραξη των περιοχών του
θυσιαζόμενου υλικού που δεν προστατεύονται
από τη φωτοευαίσθητη ουσία.
Wet or Dry Chemical Etching.



Διάλυση σε ακετόνη της φωτοευαίσθητης ουσίας που δεν εκτέθηκε σε υπεριώδη ακτινοβολία.



Εναπόθεση υμενίου του δομικού υλικού επί του διαμορφωμένου υμενίου του θυσιαζόμενου υλικού.

Layer deposition of the structural material.



Ομοιόμορφη επικάλυψη του υμενίου του δομικού υλικού με φωτοευαίσθητη ουσία δια περιστροφής.

Photoresist coating – Spin coating.



Έκθεση συγκεκριμένων περιοχών της φωτοευαίσθητης ουσίας, που καλύπτει το υμένιο του δομικού υλικού, σε υπεριώδη ακτινοβολία.

Optical Lithography – Second Mask.



Διάλυση συγκεκριμένων περιοχών της
φωτοευαίσθητης ουσίας που καλύπτει το
υμένιο του δομικού υλικού.

Development.



Υγρή ή ξηρή χημική εγχάραξη των περιοχών
του δομικού υλικού που δεν καλύπτονται από
φωτοευαίσθητη ουσία.

Optical Lithography – Second Mask.



Υγρή ή Ξηρή χημική εγχάραξη του
θυσιαζόμενου υλικού.

Wet or Dry Etching of the Sacrificial Material.



Διάλυση σε ακετόνη της φωτοευαίσθητης
ουσίας που καλύπτει το δομικό υλικό.

Υπολείμματα φωτοευαίσθητης ουσίας
διαλύονται σε πλάσμα οξυγόνου.

Stripping.



Etch Stop Layer Technique.

Composition Dependent Etching

Η αντικατάσταση ατόμων γαλλίου στο αρσενικούχο γάλλιο από άτομα αλουμινίου μεταβάλλει τον ρυθμό εγχάραξης ή διάλυσης του υλικού. Για παράδειγμα χημικό διάλυμα κιτρικού οξέος, υπεροξειδίου του υδρογόνου και απιονισμένου ύδατος διαλύει το GaAs με ρυθμό πολύ μεγαλύτερο από τον ρυθμό εγχάραξης του $\text{Al}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{As}$. Συνεπώς η εισαγωγή λεπτού υμενίου $\text{Al}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{As}$ στο GaAs λειτουργεί ως etch stop layer.

Etch Stop Layer Technique.

Orientation Dependent Etching

Ορισμένα χημικά διαλύματα διαλύουν ένα κρυσταλλογραφικό επίπεδο του κρυσταλλικού πλέγματος ενός υλικού ταχύτερα από ένα άλλο. Για παράδειγμα το χημικό διάλυμα που αποτελείται από υδροξείδιο του καλίου, ισοπροπυλική αλκοόλη και απιονισμένο ύδωρ διαλύει ταχύτερα τα κρυσταλλογραφικά επίπεδα (100) του πυριτίου σε σύγκριση με τα (111).

Σύνθετη εφαρμογή της μεθόδου των δομικών και θυσιαζόμενων υλικών.

Fabrication of a Hinge.

Κατασκευή κινούμενων μερών (hinge, micro-rotor).

Μέθοδος των δομικών και θυσιαζόμενων υλικών.

Διαδοχικά Βήματα.

Εναπόθεση υμενίου θυσιαζόμενου υλικού.
Layer deposition of a sacrificial material.

A blue arrow pointing downwards from the first box to the second box.

Εναπόθεση υμενίου δομικού υλικού.
Layer deposition of a structural material.

A blue arrow pointing downwards from the second box.


Διαμόρφωση Δομικού Υλικού.
Οπτική Λιθογραφία – Χημική Εγχάραξη.




Εναπόθεση υμενίου θυσιαζόμενου υλικού.
Τρίτη κατά σειρά εναπόθεση υλικού επί της
επιφανείας του δείγματος.
Δεύτερη εναπόθεση θυσιαζόμενου υλικού.



Διαμόρφωση του δεύτερου υμενίου
θυσιαζόμενου υλικού.
Οπτική Λιθογραφία – Χημική Εγχάραξη.



Εναπόθεση υμενίου δομικού υλικού.
Τέταρτη κατά σειρά εναπόθεση υλικού.
Δεύτερη εναπόθεση δομικού υλικού.



Διαμόρφωση του δεύτερου δομικού υλικού.
Οπτική Λιθογραφία – Χημική Εγχάραξη.



Διάλυση με υγρή χημική εγχάραξη των δύο
υμενίων των θυσιαζόμενων υλικών.

Κατασκευή Συμβατικών Ηλιακών Κυττάρων Πυριτίου. Διάγραμμα Ροής.

Διαδοχικές διεργασίες για την
κατασκευή συμβατικών ηλιακών
κυττάρων πυριτίου.

Καθαρισμός του υποστρώματος πυριτίου.
12% NaOCl (sodium hypochlorite) σε
υδατόλουτρο υπερήχων για χρονικό διάστημα
πέντε λεπτών.

Removal of organic contaminants



Εξομάλυνση της τραχύτητας των επιφανειών
του υποστρώματος πυριτίου που προκλήθηκε
κατά την κοπή του με wire saw.
8% NaOH και απιονισμένο ύδωρ (80 °C).



Διαμόρφωση της επιφάνειας του ηλιακού κυττάρου
στην οποία προσπίπτει η ηλεκτρομαγνητική
ακτινοβολία.


2% NaOH, 8% IPA και deionized water (80 °C).
Surface Texturing.



Σχηματισμός ομοεπαφής p-n.
Θερμική Διάχυση ή Ιοντική Εμφύτευση.



Ηλεκτρική απομόνωση των περιοχών τύπου-n και τύπου-p κατά μήκος των ακμών του ηλιακού κυττάρου.
Edge Isolation.



Δημιουργία των ωμικών επαφών στις δύο πλευρές του ηλιακού κυττάρου με screen printing.



Κατασκευή των ωμικών επαφών και στις δύο επιφάνειες του ηλιακού κυττάρου πυριτίου.

Front and back side metallization -
Screen Printing Technique.



Ταυτόχρονη ανόπτηση των μεταλλικών ωμικών επαφών των επιφανειών των ηλιακών κυττάρων πυριτίου.

Co-firing



Ηλεκτρικός Χαρακτηρισμός.

Ηλεκτρικός χαρακτηρισμός των ηλιακών
κυττάρων πυριτίου.

Καταγραφή και ανάλυση των χαρακτηριστικών
καμπυλών I-V (ρεύματος-τάσης).

Υπολογισμός της απόδοσης και του παράγοντα
πλήρωσης των ηλιακών κυττάρων πυριτίου.

Ταξινόμηση των ηλιακών κυττάρων
πυριτίου ανάλογα με τις αριθμητικές τιμές
των παραμέτρων της απόδοσης και του
παράγοντα πλήρωσης.

Electrical characterization of the
fabricated Si solar cells.


Κατασκευή Ηλιακών Κυττάρων. Διάγραμμα Ροής.

Διαδοχικές διεργασίες για την
κατασκευή συμβατικών ηλιακών
κυττάρων πυριτίου.


Καθαρισμός του υποστρώματος πυριτίου.
Wafer Cleaning




Εξομάλυνση της τραχύτητας των
επιφανειών του υποστρώματος πυριτίου
που προκλήθηκε κατά την κοπή του.
Saw Damage Removal




Διαμόρφωση της επιφάνειας του ηλιακού
κυττάρου στην οποία προσπίπτει η
ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.
Surface Texturing




Εναπόθεση αντιανακλαστικής
επιφάνειας.
Antireflection Coating.



Σχηματισμός της ομοεπαφής p-n του
ηλιακού κυττάρου πυριτίου.
Formation of the p-n junction



Ηλεκτρική απομόνωση των περιοχών
τύπου-n και τύπου-p κατά μήκος των
ακμών του ηλιακού κυττάρου.
Edge Isolation.



Κατασκευή των ωμικών επαφών και των δύο επιφανειών των ηλιακών κυττάρων πυριτίου.

Front and back side metallization -
Screen Printing Technique.



Ταυτόχρονη ανόπτηση των μεταλλικών ωμικών επαφών των επιφανειών των ηλιακών κυττάρων πυριτίου.

Co-firing



Ηλεκτρικός χαρακτηρισμός των
κατασκευασμένων κυττάρων πυριτίου –
Ταξινόμηση ανάλογα με τις αριθμητικές
τιμές των παραμέτρων της απόδοσης και
του παράγοντα πλήρωσης.

Electrical characterization of the
fabricated Si solar cells.

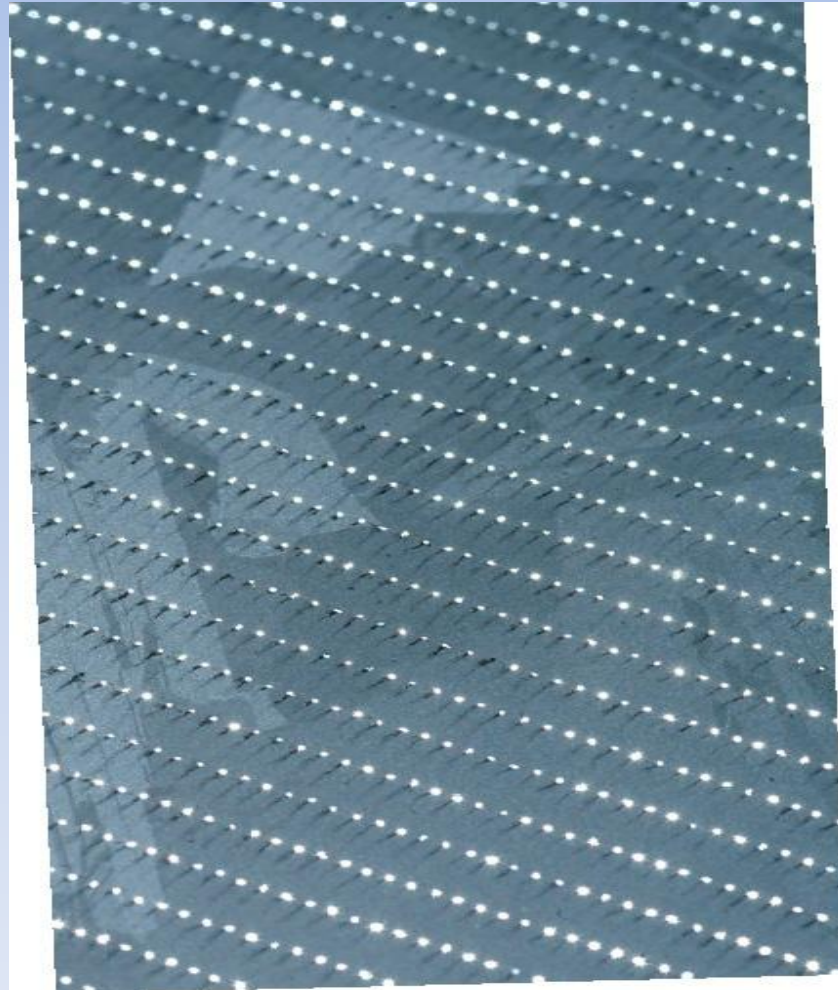
Μείωση της ενεργού επιφανείας ενός ηλιακού κυττάρου – Σκίαση

Υπολογισμός του συνολικού
εμβαδού των ράβδων συλλογής
ηλεκτρικού ρεύματος και των
μεταλλικών γραμμών του
πλέγματος ενός ηλιακού κυττάρου.

Κατασκευή Emitter Wrap Through Ηλιακών Κυττάρων Πυριτίου. Διάγραμμα Ροής.

Διαδοχικά βήματα για την
κατασκευή emitter wrap through
ηλιακών κυττάρων πυριτίου.

Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT
Laser beam high speed drilling for
Emitter Wrap Through (EWT) Silicon Solar Cells.



Κύριες Διεργασίες Κατασκευής ενός Emitter Wrap Through (EWT) ηλιακού κυττάρου πυριτίου υψηλής απόδοσης.

Τα αρχικά βήματα κατασκευής ενός Emitter WrapThrough ηλιακού κυττάρου πυριτίου όπως : α) ο καθαρισμός του n-ή p-type υποστρώματος, β) η εξομάλυνση των ατελειών που προήλθαν από την κοπή των n- ή p-type wafers με τη χρησιμοποίηση wire saw, γ) η διαμόρφωση της επιφάνειας που δέχεται την ηλιακή ακτινοβολία και δ) η εναπόθεση αντιανακλαστικής επιφάνειας είναι κοινά με την κατασκευή των συμβατικών ηλιακών κυττάρων μονοκρυσταλλικού ή πολυκρυσταλλικού πυριτίου.

Διάνοιξη περιοδικού πλέγματος οπών με
κατάλληλο σύστημα laser.

Laser Drilling




Σχηματισμός ομοεπαφής p-n ηλιακού
κυττάρου πυριτίου.


Formation of the p-n junction.




Δημιουργία ωμικών επαφών στις περιοχές τύπου- του ηλιακού κυττάρου.
Ohmic contact evaporation on n-type regions of the solar cell.



Δημιουργία ανοιγμάτων με υγρή ή ξηρή χημική εγχάραξη στις περιοχές τύπου-n του ηλιακού κυττάρου.
Openings in n-type regions using wet or dry chemical etching.

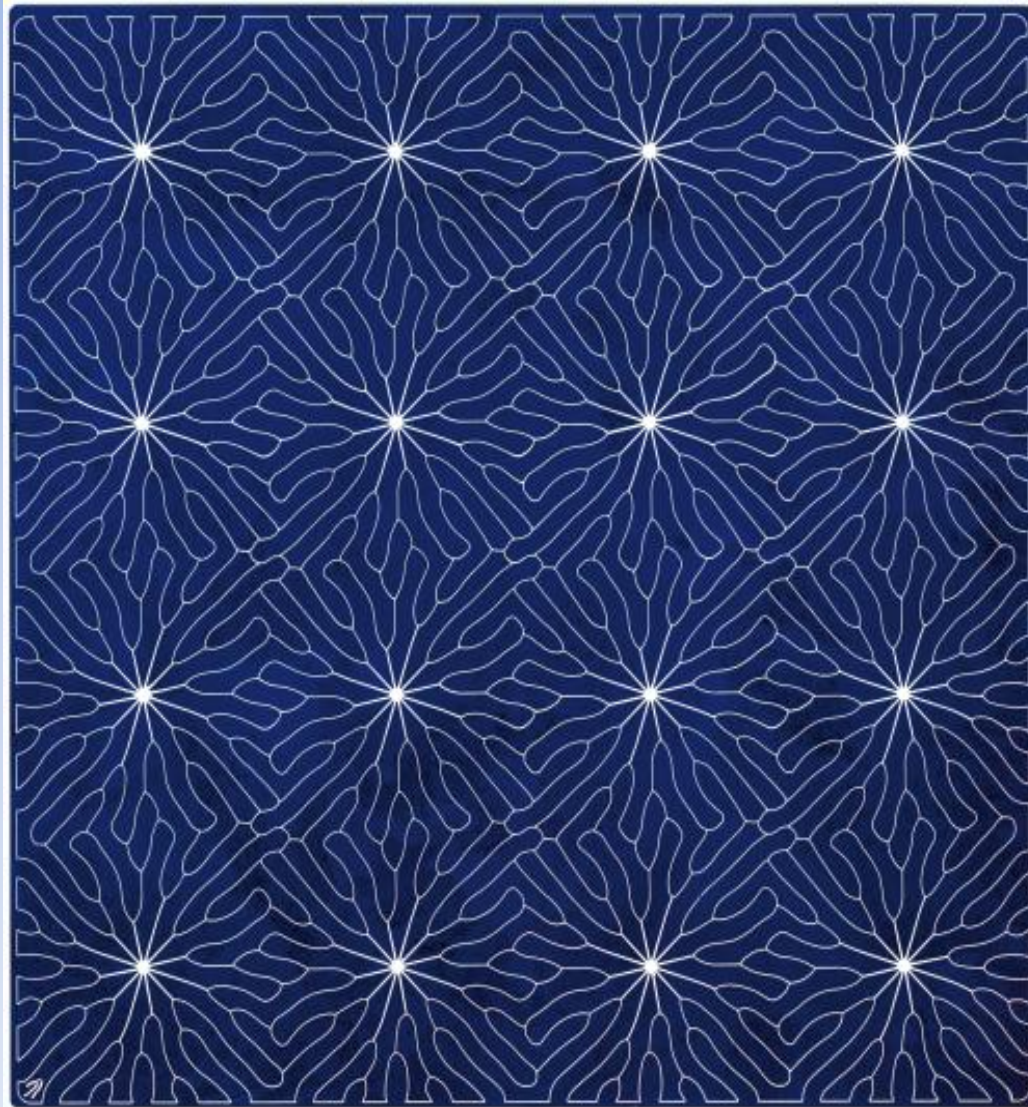


Εναπόθεση ωμικών επαφών στις περιοχές τύπου-p που δημιουργήθηκαν τα ανοίγματα.
Formation of ohmic contacts on the p-type regions of the Si solar cell.



Ηλεκτρική σύνδεση των ωμικών επαφών των περιοχών τύπου-n και των περιοχών τύπου-p .
Electric connection of all the ohmic contacts on the n-type areas and all the ohmic contacts on the p-type areas separately.

Metal Wrap Through Silicon Solar Cell



Κατασκευή ενός microheater.

Διαδοχικά κύρια βήματα για την
κατασκευή ενός microheater.

Διάγραμμα Ροής.

Ανάπτυξη διοξειδίου του πυριτίου επί του υποστρώματος πυριτίου.



Ανάπτυξη αζωτούχου πυριτίου επί του διοξειδίου του πυριτίου.



Κατασκευή του μεταλλικού ηλεκτροδίου της μικροαντίστασης επί του αζωτούχου πυριτίου.

Το στάδιο αυτό της κατασκευής απαιτεί :

- α) ομοιόμορφη εναπόθεση, δια περιστροφής, φωτοευαίσθητης ουσίας επί του αζωτούχου πυριτίου, β) οπτική λιθογραφία με ειδικά σχεδιασμένη μάσκα, γ) development, δ) εναπόθεση μεταλλικών υμενίων, για παράδειγμα Ti/Au, για τον σχηματισμό του ηλεκτροδίου και ε) lift-off.




Ανάπτυξη αζωτούχου πυριτίου για την κάλυψη του ηλεκτροδίου της μικροαντίστασης και την ηλεκτρική μόνωσή της.




Δημιουργία ανοιγμάτων στο αζωτούχο πυρίτιο στα άκρα του ηλεκτροδίου της μικροαντίστασης για την κατασκευή των μεταλλικών ωμικών συνδέσεων.



Εναπόθεση των μεταλλικών υμενίων που θα αποτελέσουν τις ωμικές συνδέσεις με τα άκρα του ηλεκτροδίου της μικροαντίστασης.
Contact pads and bonding pads.



Ευθυγράμμιση λιθογραφικών επιπέδων των δύο επιφανειών του υποστρώματος πυριτίου για την δημιουργία της μεμβράνης. Το στάδιο αυτό απαιτεί την δημιουργία ανοίγματος, στην πίσω πλευρά του υποστρώματος πυριτίου, ευθυγραμμισμένου με το ηλεκτρόδιο της μικροαντίστασης που έχει ήδη κατασκευαστεί στην επάνω πλευρά.
Window opening using Back Side Alignment.



Χημική εγχάραξη του διοξειδίου πυριτίου και του αζωτούχου πυριτίου.



Κατασκευή της μεμβράνης με χημική εγχάραξη του υποστρώματος πυριτίου. Δημιουργία δοχείου σχήματος V με πυθμένα. Ως etch stop layer χρησιμοποιείται το διοξείδιο του πυριτίου.


Κατασκευή Πύλης Τρανζίστορ με
Λιθογραφία Δέσμης Ηλεκτρονίων.

Κύρια Βήματα Κατασκευής
Πύλης Τρανζίστορ Υψηλών
Συχνοτήτων με Λιθογραφία
Δέσμης Ηλεκτρονίων Υψηλής
Ενέργειας.

Καθαρισμός του δείγματος.
Sample Cleaning.




Ομοιόμορφη επικάλυψη του δείγματος
με διαδοχικά υμένια PMMA μικρού και
μεγάλου μοριακού βάρους.
Bilayer of PMMA of low and high
molecular weight respectively.



Προόπτηση.
Resist Baking.




Οπτική Λιθογραφία
Έκθεση των υμενίων PMMA μικρού και
μεγάλου μοριακού βάρους σε δέσμη
ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας.
Exposure of the bilayer of PMMA to an
electron beam.



Διάλυση των περιοχών των υμενίων PMMA
που εκτέθηκαν στη δέσμη ηλεκτρονίων.
Development.



Εναπόθεση των μεταλλικών υμενίων της
πύλης με Εξαχνωτή Δέσμης Ηλεκτρονίων.
Deposition of Metal Gate using Electron Beam
Evaporation.



Διάλυση σε ακετόνη των περιοχών των υμενίων
PMMA που δεν εκτέθηκαν σε δέσμη ηλεκτρονίων
υψηλής ενέργειας.
Lift-off.

Πύλες τρανζίστορς υψηλών συχνοτήτων με
μήκη έως 10 νανόμετρα κατασκευάζονται με
Λιθογραφία Δέσμης Ηλεκτρονίων υψηλής
ενέργειας.

Κατασκευή ράβδου Hall.

Κύρια Βήματα Κατασκευής
μίας ράβδου Hall με Οπτική
Λιθογραφία.

Ευθυγράμμιση διαδοχικών
λιθογραφικών επιπέδων.

Fabrication of a Hall bar. Optical Lithography Masks.

- 1) Alignment Markers**
- 2) Ohmic Contacts**
- 3) Isolation Level**

1) Γεωμετρικά σχήματα ευθυγράμμισης
διαδοχικών λιθογραφικών επιπέδων.

Alignment Markers

2) Ωμικές επαφές ηλεκτρικού ρεύματος και
διαμήκους και εγκάρσιας διαφοράς δυναμικού.

Ohmic Contacts

3) Υγρή Χημική Εγκάραξη για τον σχηματισμό
της ράβδου Hall.

Isolation Level.

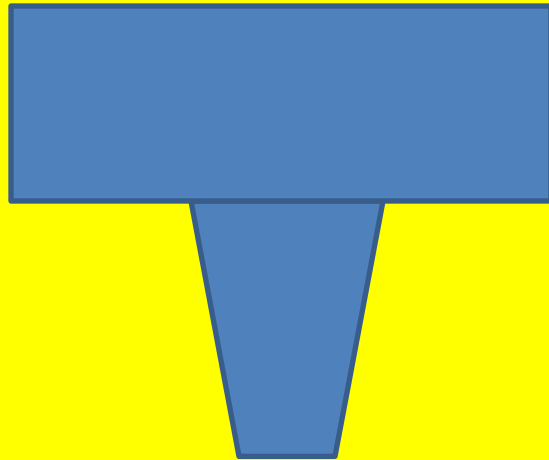
**Κλασικό φαινόμενο Hall.
Ηλεκτρικός χαρακτηρισμός υλικού με
μετρήσεις Hall.
Συγκέντρωση φορέων αγωγιμότητας.
Συντελεστής Hall.**

**Κατασκευή τρανζίστορ με την μέθοδο
της αυτό-ευθυγράμμισης.
Self-aligned process.**

Λιθογραφικά Επίπεδα.

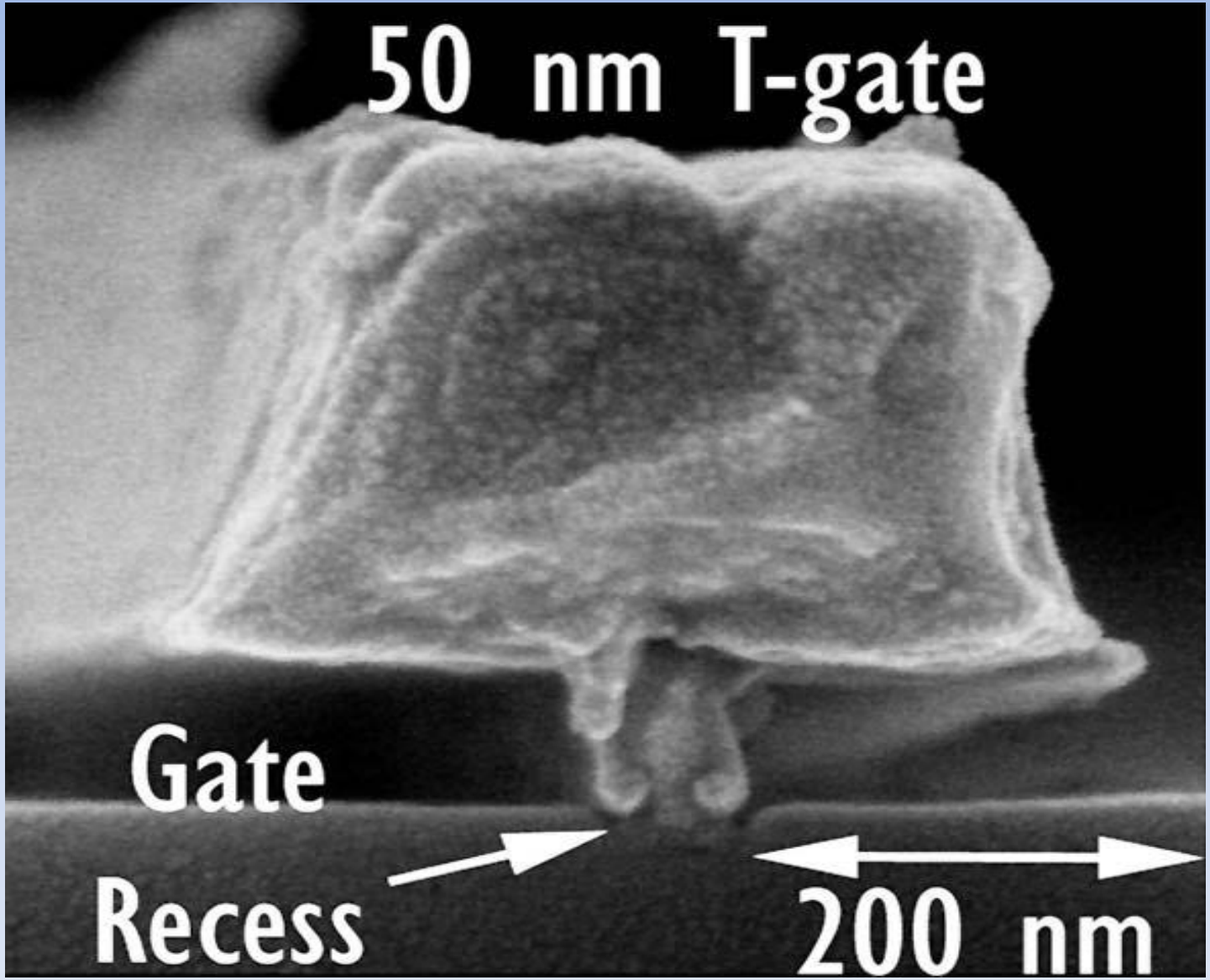
- 1) Alignment Markers
- 2) Isolation Level
- 3) Gate Level
- 4) Ohmic Contacts
- 5) Bonding Pads

Κατασκευή πύλης τρανζίστορ σχήματος T. T-gate fabrication.



Gate Head

Gate Foot



50 nm T-gate

Gate
Recess

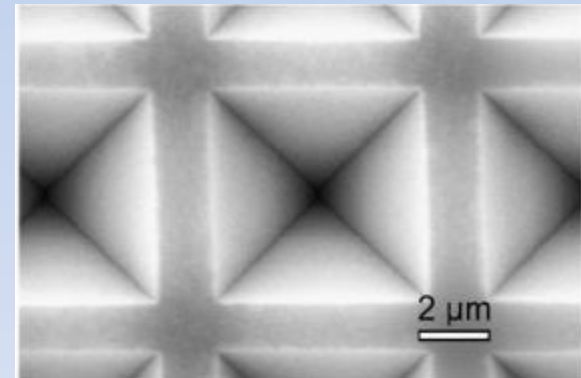
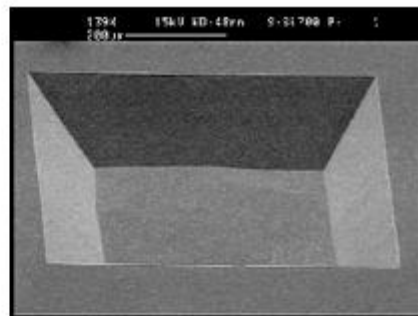
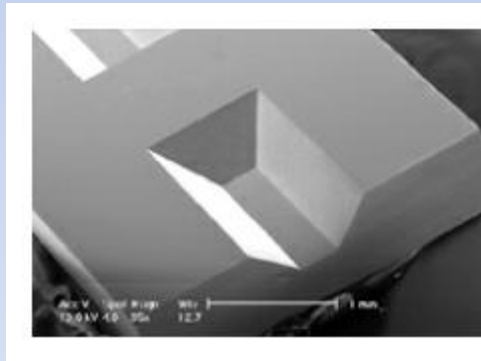
200 nm

Τεχνικές διαμόρφωσης της επιφάνειας ηλιακών κυττάρων Surface Texturing

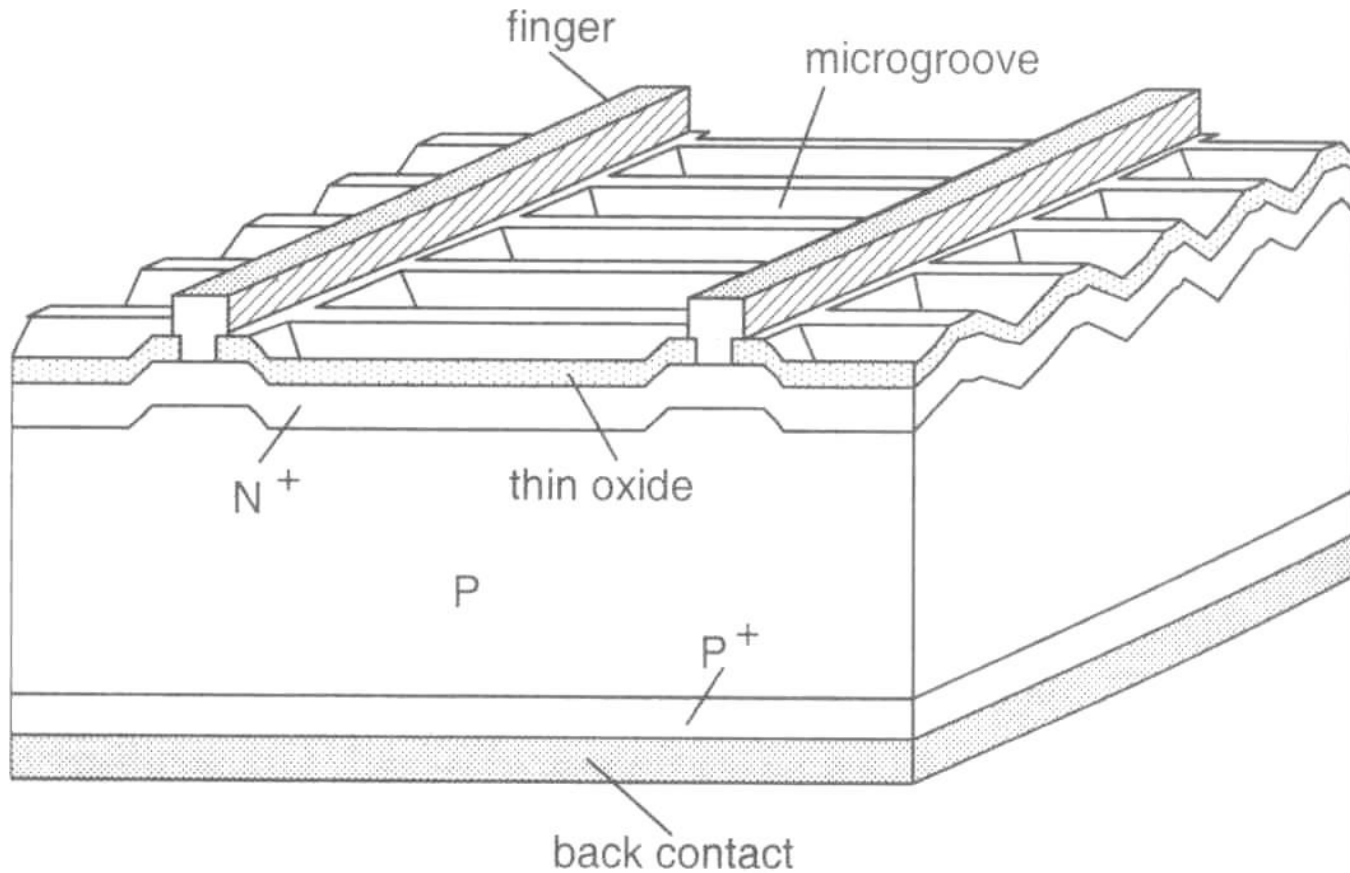
- Optical Lithography + Etching
- Alkaline or Acidic Etching
- Mechanical V-Grooving
- Laser Surface Texturing

Ανισοτροπική υγρή χημική εγχάραξη κρυσταλλικού πυριτίου.

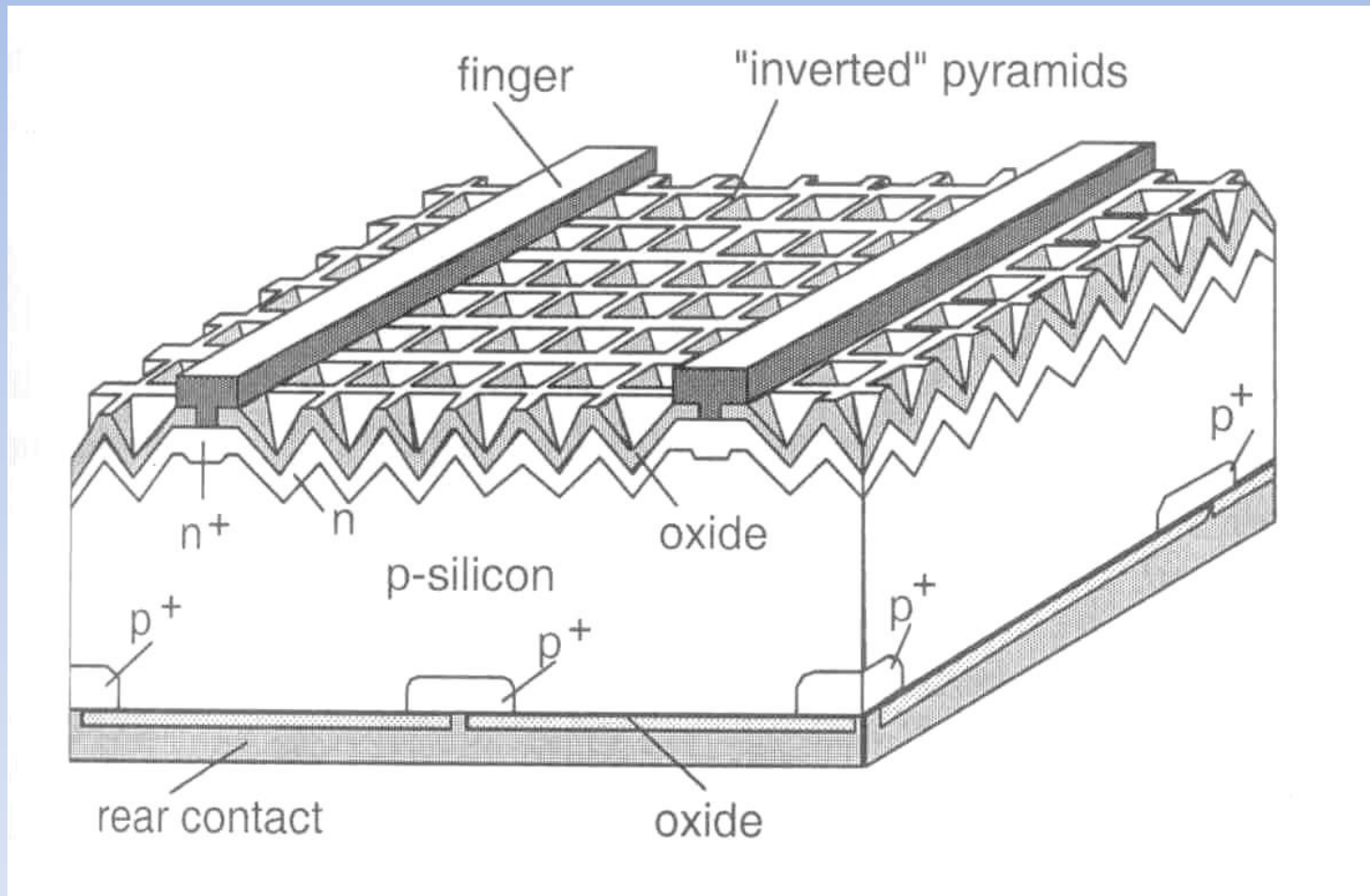
Scanning electron micrographs of an $\langle 100 \rangle$ oriented silicon substrate after immersion in an anisotropic wet chemical etchant.



Διαμόρφωση της επιφάνειας ηλιακού κυττάρου με την κατασκευή V shaped microgrooves.



Διαμόρφωση της επιφάνειας ηλιακού κυττάρου με ανάστροφες πυραμίδες.



Διαμόρφωση της επιφάνειας ενός κυττάρου πυριτίου για την αποτελεσματικότερη παγίδευση των φωτονίων της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας.

[Light trapping properties of pyramidally textured surfaces.](#)

[Campbell P, Green MA.](#)

Journal of Applied Physics, 1987, 62(1), 243.

[High performance light trapping textures for monocrystalline silicon solar cells.](#)

[Campbell P, Green MA.](#)

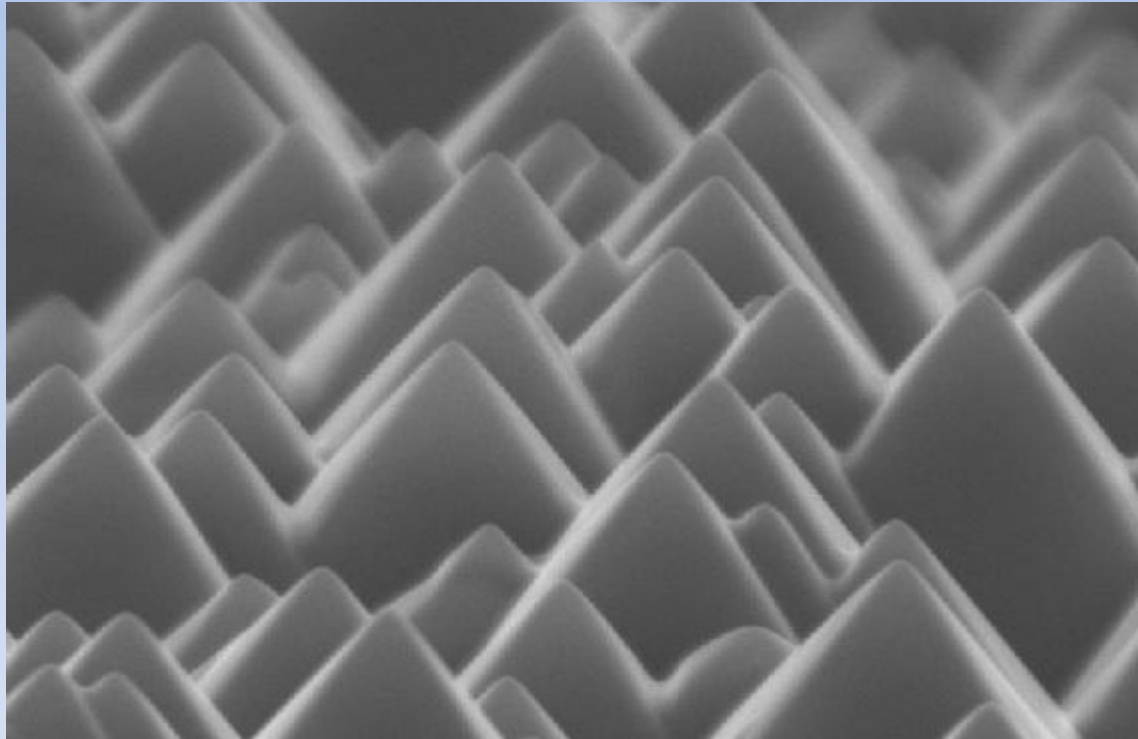
Solar Energy Materials and Solar Cells, 2001, 65(1-4), 369 – 375.

Scanning electron microscope photograph of a textured silicon surface.

[Texture etching of silicon : method.](#)

[Bailey WL, Coleman MG, Harris CB, Lesk IA.](#)

United States Patent: 4137123.



**Scanning electron microscope photograph of a textured silicon surface.
Image Courtesy of The School of Photovoltaic & Renewable Energy
Engineering, University of New South Wales.**

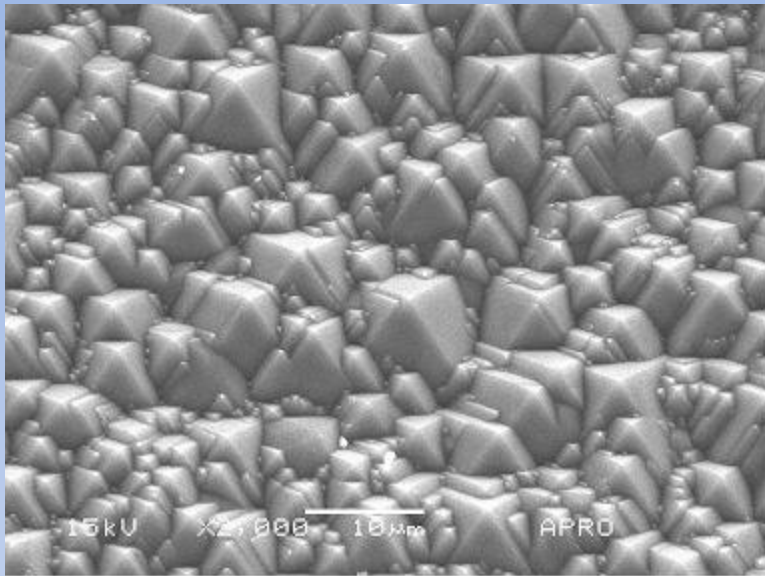
Alkaline Etching of Silicon Surfaces

- NaOH (2 Wt%) / IPA (6 wt%) / DIH₂O
- Temperature : 82 °C
- Etching times : 25, 30, 35 and 40 minutes respectively
- Average height of pyramids : ~3, 5, 7 and 10 micrometers approximately
- **Fabrication of Crystalline Silicon Solar Cell with Emitter Diffusion, SiNx Surface Passivation and Screen Printing of Electrode.**

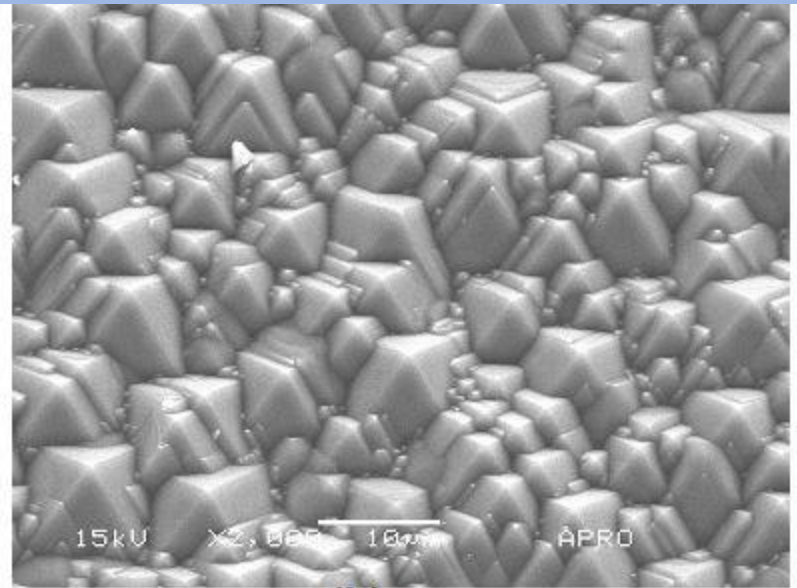
S. M. Iftiqar¹, Youngwoo Lee¹, Minkyu Ju¹, Nagarajan Balaji², Suresh Kumar Dhungel¹ and Junsin Yi^{1,2}

[¹] College of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University, Republic of Korea

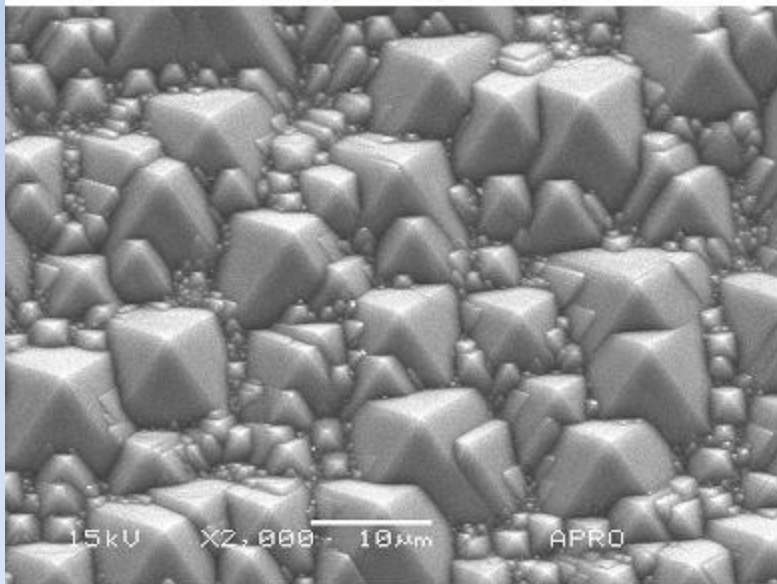
[²] Department of Energy Science, Sungkyunkwan University, Republic of Korea



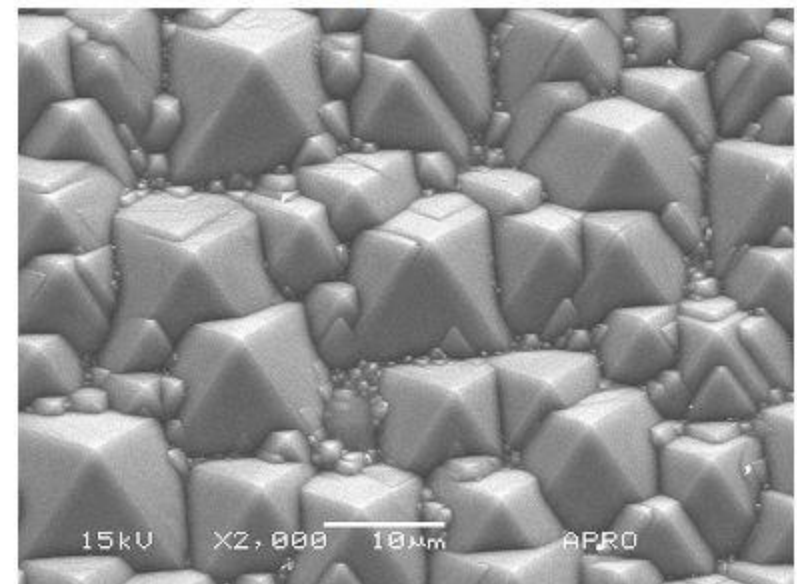
(a)



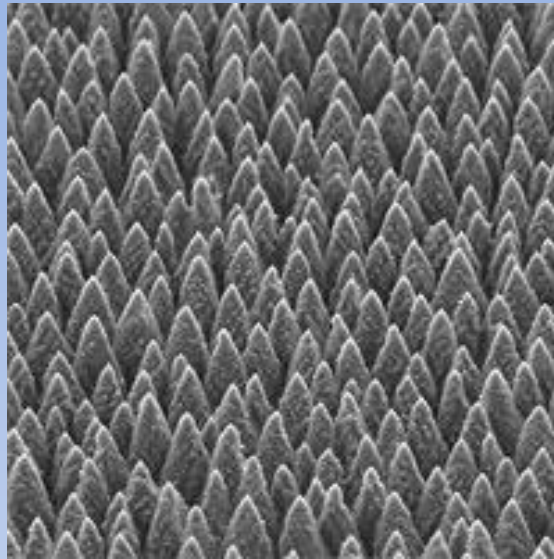
(b)



(c)



(d)



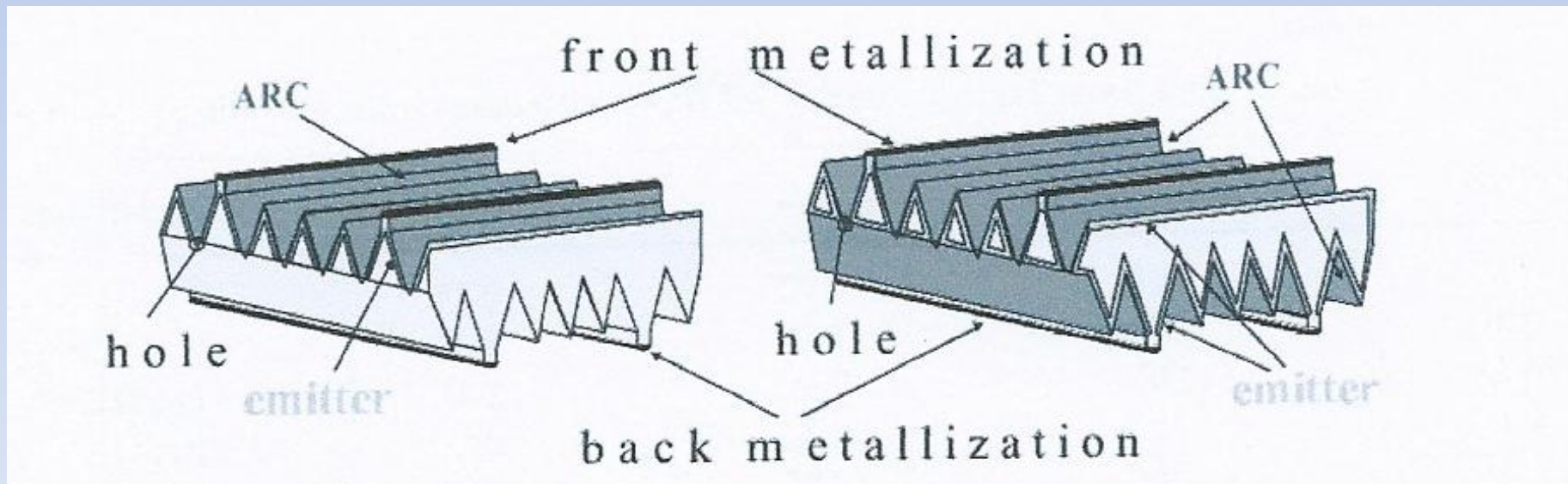
Διαμόρφωση της επιφάνειας ηλιακού κυττάρου πυριτίου – Laser texturing

The hills and valleys of the nanospikes increase the surface area and reduce the reflection of light. The heights of nanospikes range from 10 to 100 millionths of a meter.

This laser texturing process was developed by Professor Mool C. Gupta of the Department of Electrical and Computer Engineering of the University of Virginia. It was patented through the University of Virginia Patent Foundation.

Surface texturing of Si solar cells by mechanical fabrication of V-grooves

Latest results on semitransparent POWER silicon solar cells
Arnd Boueke, Ralph Kuhn, Peter Fath, Gerhard Willeke, Ernst Bucher
Solar Energy Materials and Solar Cells 65 (2001) 549-553



Lasers in Photovoltaics

Silicon Surface Texturing using Laser Beams

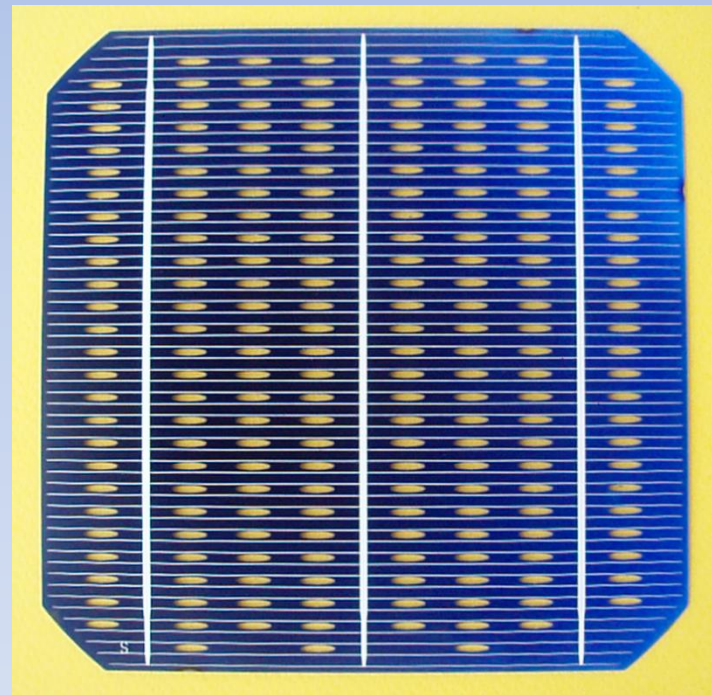
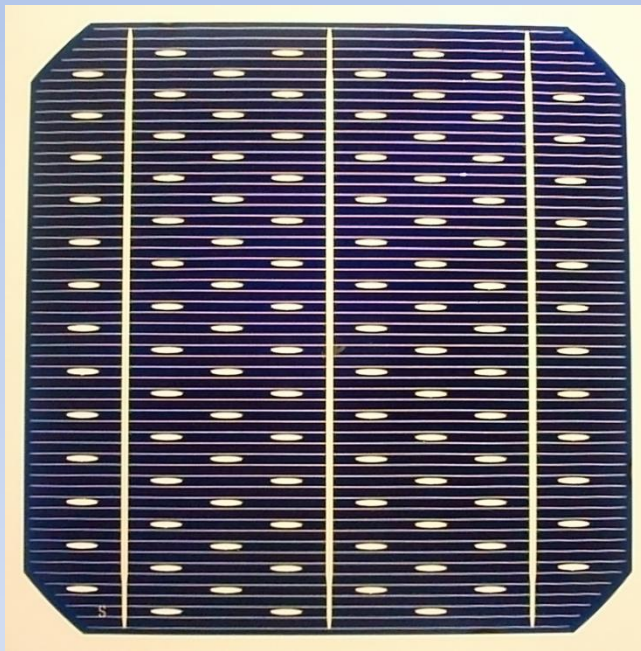
Laser Edge Isolation Scribing

Emitter Wrap Through (EWT) Si Solar Cells using
Laser Drilling

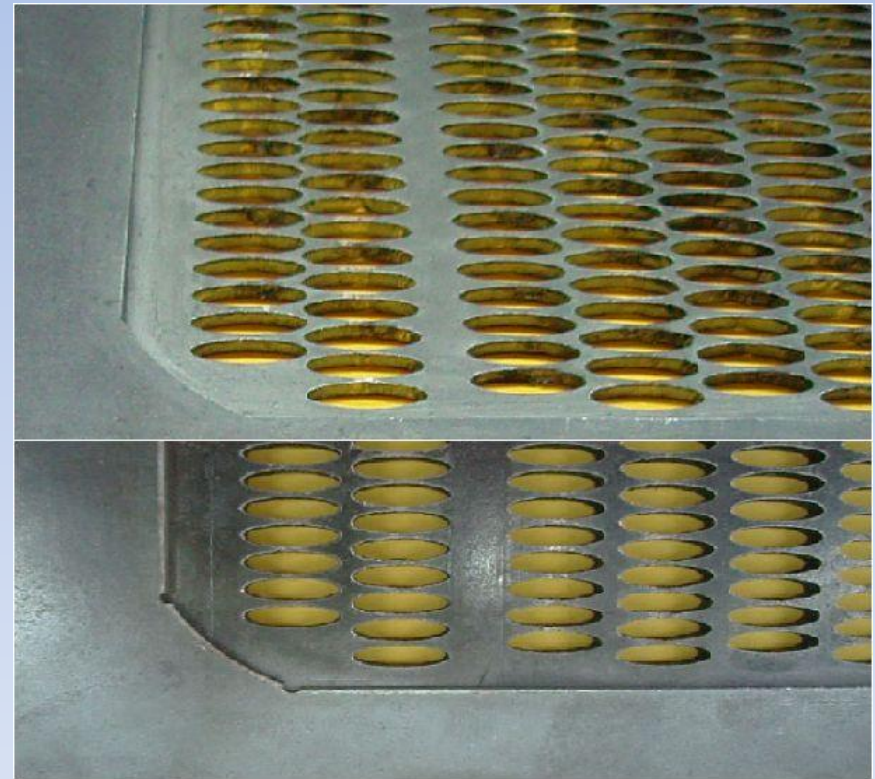
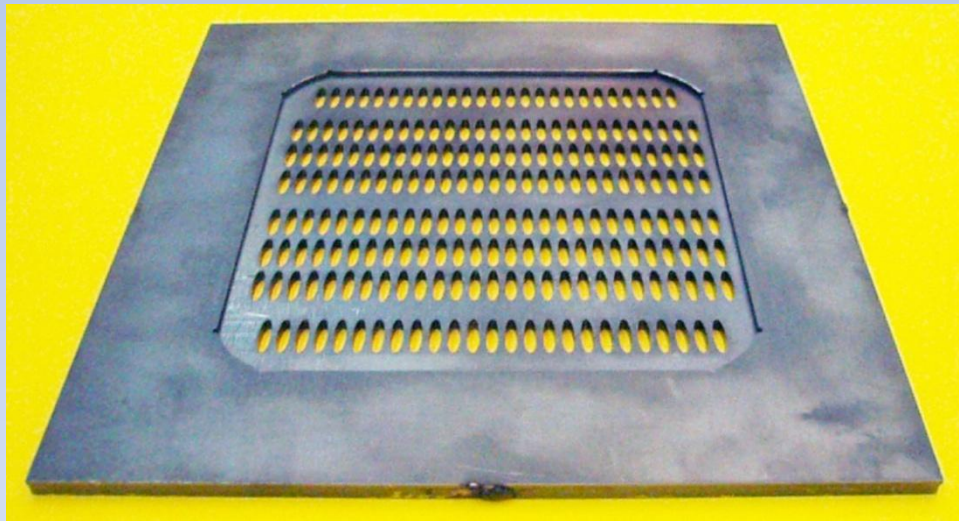
Metal Wrap Through (MWT) Si solar Cells using
Laser Trepaning

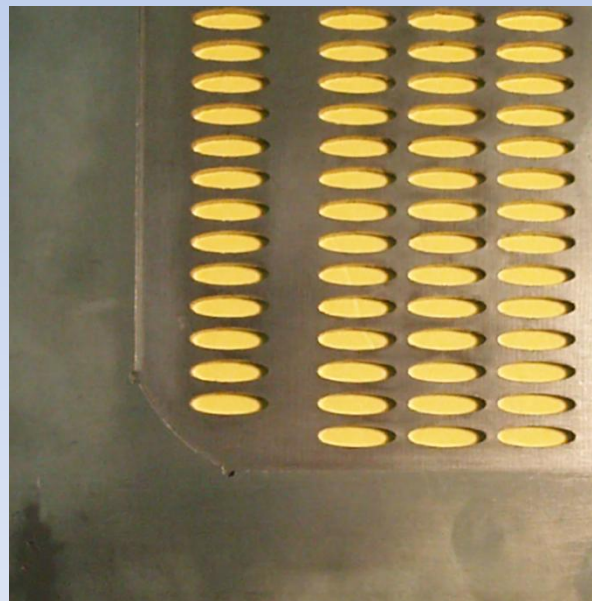
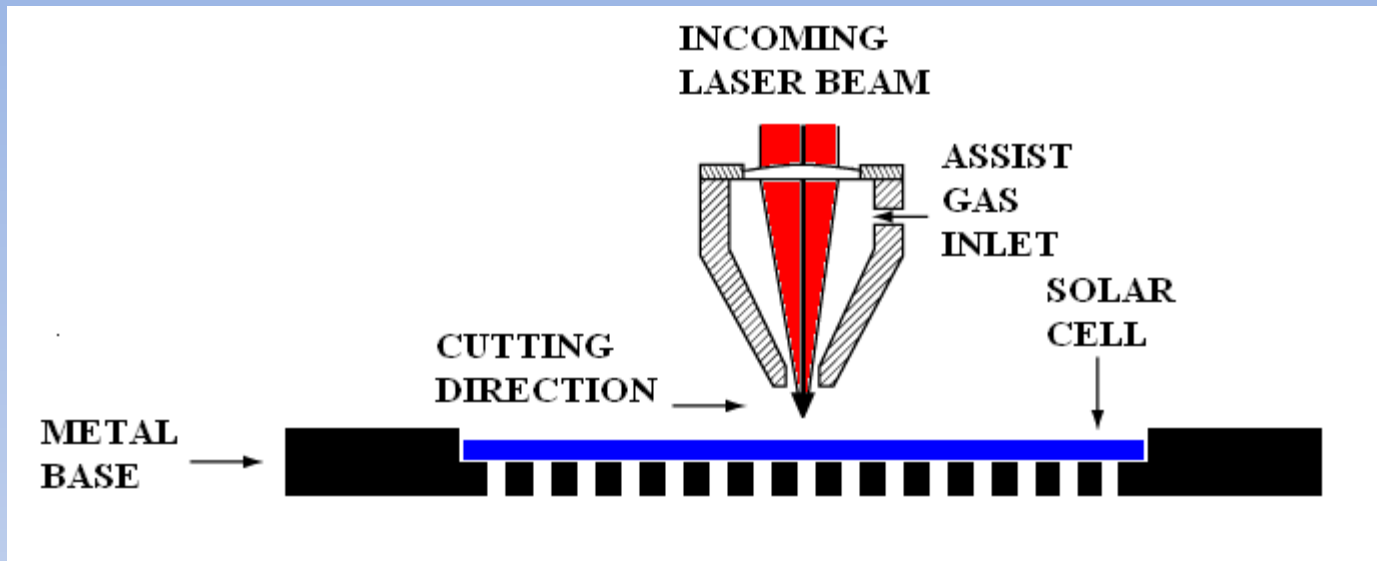
Fabrication of Semi-transparent Si Solar Cells
using Laser Cutting

Ημιδιαφανή Ηλιακά Κύτταρα Πυριτίου
Εργαστήριο Ηλεκτρονικών Υλικών
Τμήμα Μηχανικών Επιστήμης Υλικών
Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων



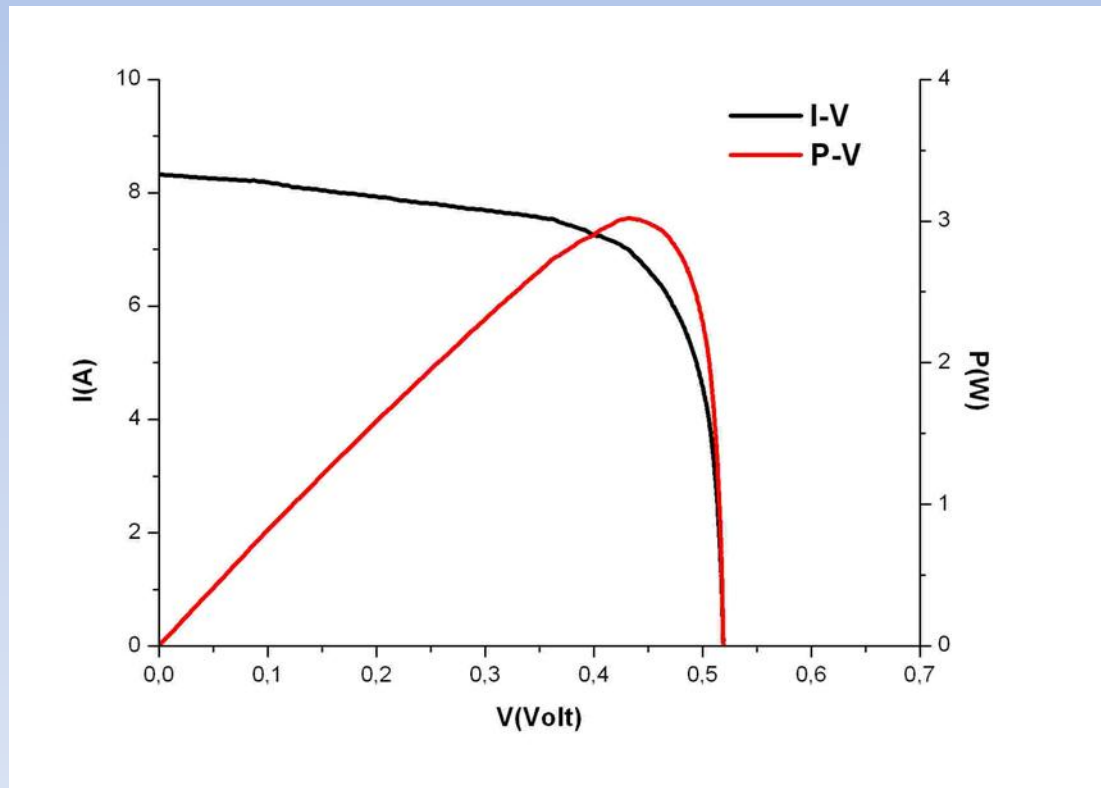
Μεταλλική βάση ειδικά σχεδιασμένη για την κατασκευή, με τη χρησιμοποίηση δέσμης laser, ημιδιαφανών ηλιακών κυττάρων πυριτίου.





Χαρακτηριστικές καμπύλες

- α) ηλεκτρικού ρεύματος – διαφοράς δυναμικού (I-V) και
β) ισχύος – διαφοράς δυναμικού (P-V)
ημιδιαφανών ηλιακών κυττάρων πυριτίου.

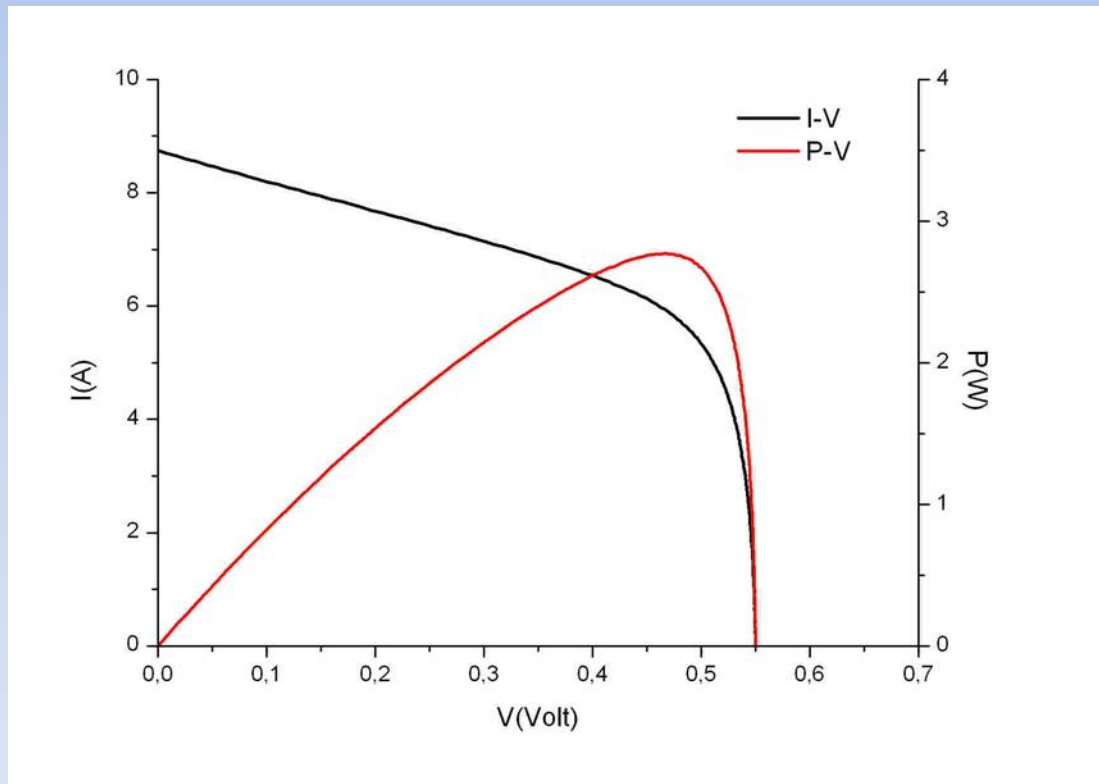


Χαρακτηριστικές καμπύλες

α) ηλεκτρικού ρεύματος – διαφοράς δυναμικού (I-V) και
β) ισχύος – διαφοράς δυναμικού (P-V)
ημιδιαφανών ηλιακών κυττάρων πυριτίου.

Ηλιακά κύτταρα με μεγάλο αριθμό ελλείψεων.

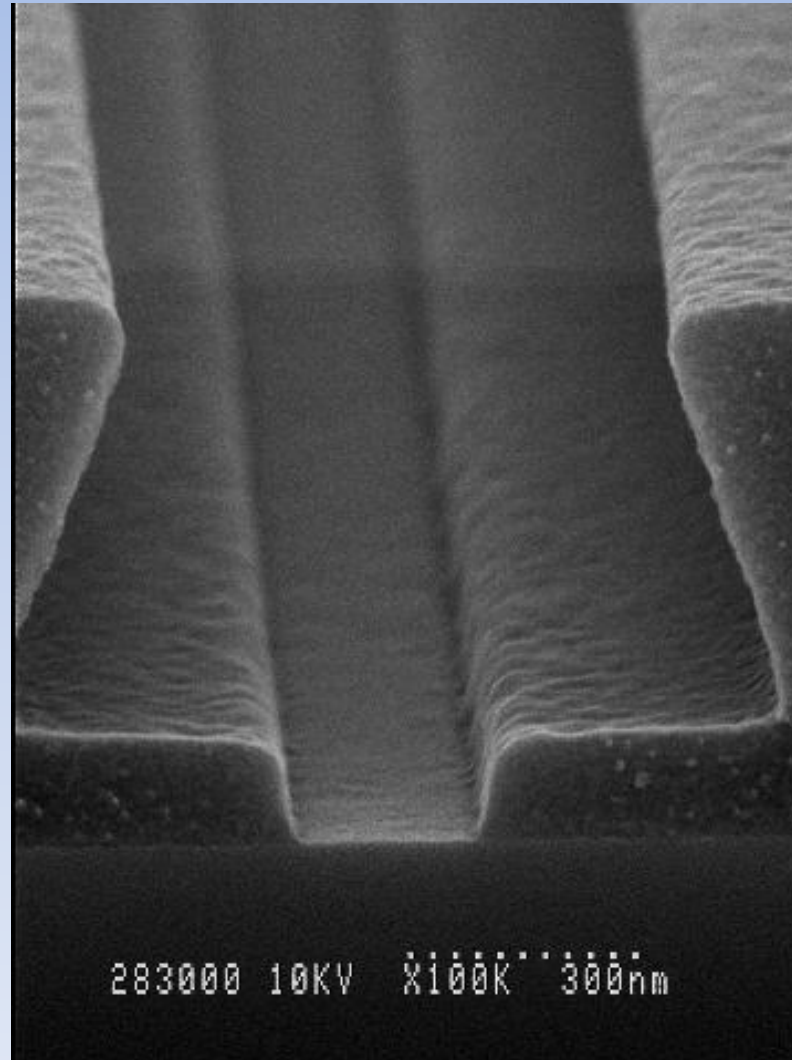
Οι κοπές έγιναν στις εγκαταστάσεις της εταιρείας Μεταλλεμπορική Α.Ε.
στη βιομηχανική περιοχή της Πάτρας.

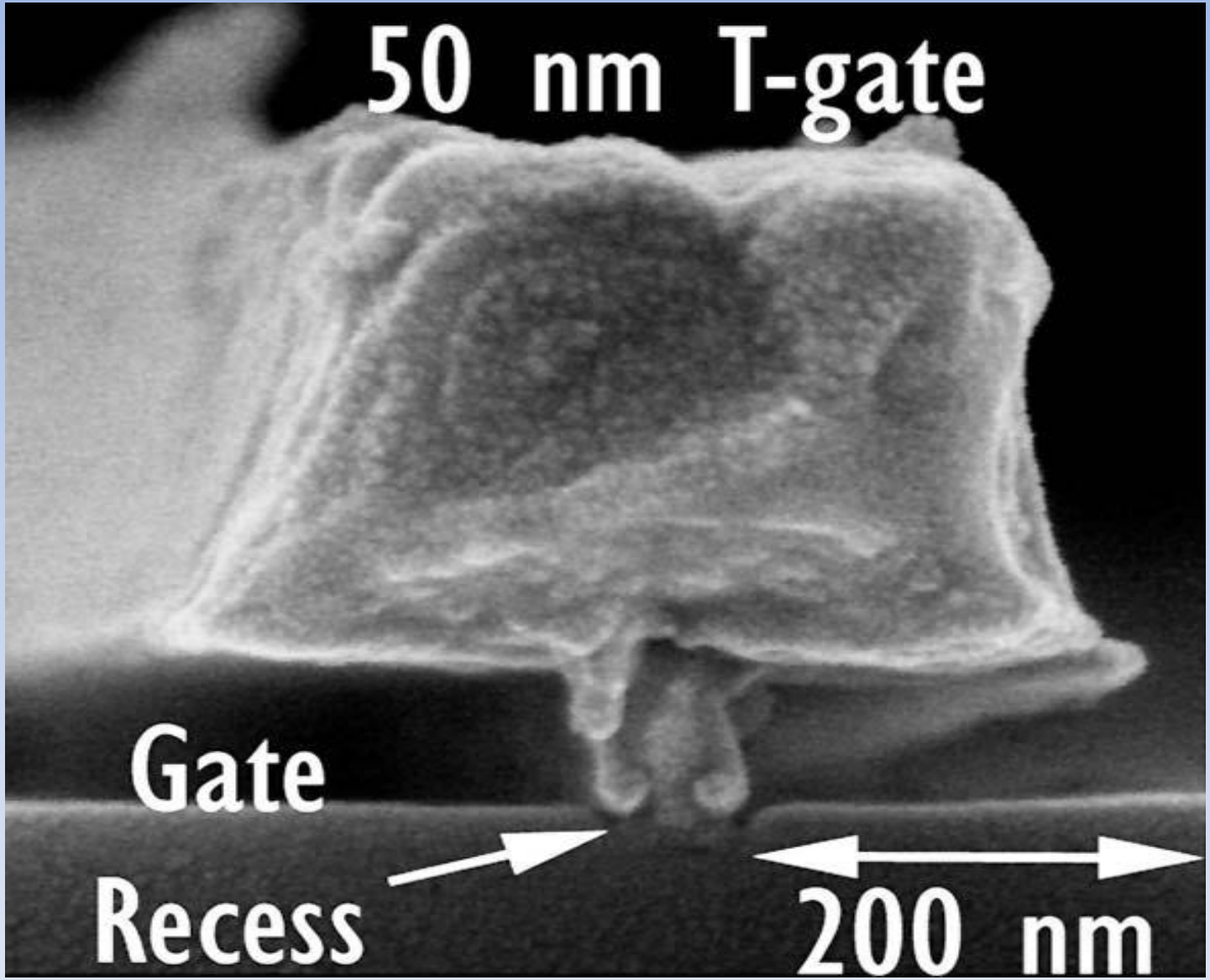


Διαφορετικές τεχνικές κατασκευής ηλιακών κυττάρων πυριτίου

- Standard monocrystalline Si solar cells
- Emitter wrap-through (EWT) Si solar cells
- Metal wrap-through (MWT) Si solar cells

Resist development prior to T-gate metal deposition





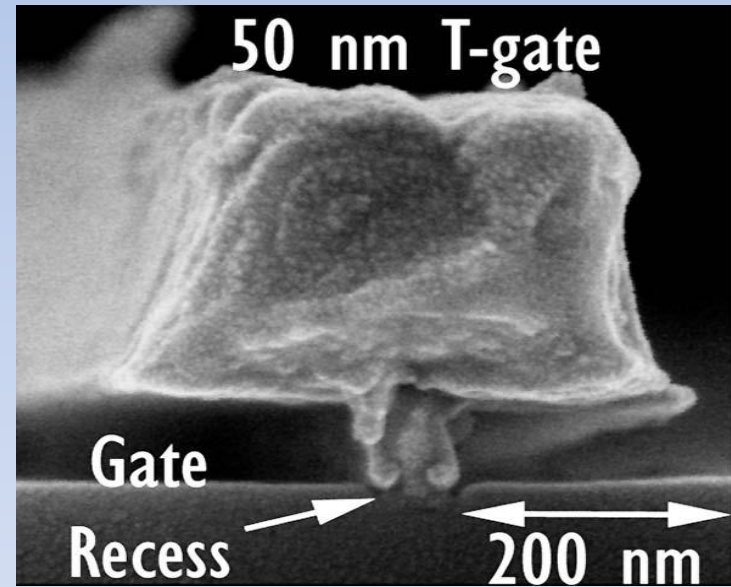
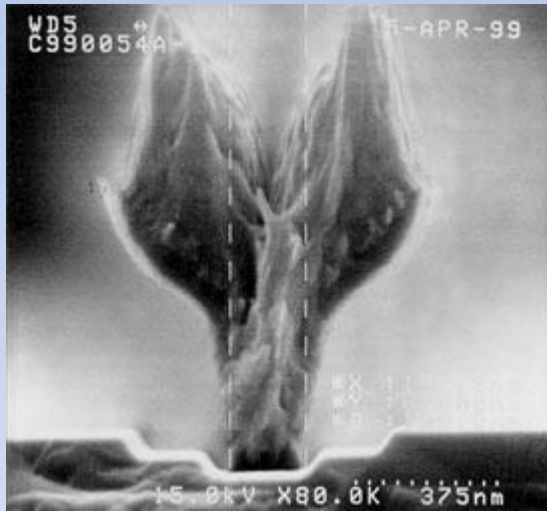
50 nm T-gate

Gate

Recess

200 nm

T-gates for high frequency III-V transistors



Λιθογραφία Νανοαποτύπωσης. NanoImprint Lithography.

Διαδοχικά βήματα για την αποτύπωση λιθογραφικού επιπέδου επί δείγματος ομοιόμορφα επικαλυμμένου με θερμοπλαστικό πολυμερές.

Καθαρισμός του δείγματος.




Ομοιόμορφη επικάλυψη του δείγματος
με θερμοπλαστικό πολυμερές δια
περιστροφής.



Ευθυγράμμιση Δείγματος και Εκμαγείου.



Αύξηση της θερμοκρασίας του δείγματος και του θερμοπλαστικού πολυμερούς. Η θερμοκρασία πρέπει να είναι μεγαλύτερη από εκείνη της υαλώδους μετάπτωσης του θερμοπλαστικού πολυμερούς.



Εφαρμογή ομοιόμορφης πίεσης στην επιφάνεια του εκμαγείου ώστε να αρχίσει να εισχωρεί, με ελεγχόμενο τρόπο, στο θερμοπλαστικό πολυμερές έως την επιφάνεια του δείγματος.



Μείωση της θερμοκρασίας του δείγματος σε θερμοκρασία μικρότερη της υαλώδους μετάπτωσης του θερμοπλαστικού υλικού.



Προσεκτική αποκόλληση του εκμαγείου
από το θερμοπλαστικό πολυμερές.



Διάλυση των υπολειμμάτων του
θερμοπλαστικού υλικού που παρέμειναν στις
περιοχές της επιφάνειας του δείγματος που
προσέγγισαν οι κορυφές των υψηλότερων
δομών της διαμορφωμένης επιφάνειας του
εκμαγείου.

Κύριος Εξοπλισμός
Εργαστηρίου Νανοτεχνολογίας
Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Σύστημα Οπτικής Λιθογραφίας
Εξαχνωτής με Δέσμη Ηλεκτρονίων
Σύστημα Ταχείας Θερμικής Ανόπτωσης
Modular Wet Processing Stations

Σύγχρονο Σύστημα Οπτικής Λιθογραφίας. Mask Aligner – MA6 - Suss MicroTeck



Κύρια μέρη ενός σύγχρονου συστήματος οπτικής λιθογραφίας.

- 1) Κυλινδρική Μεταλλική Βάση. Σύνδεση με αντλία κενού. Μηχανική σταθερότητα του δείγματος κατά την εκτύπωση ενός λιθογραφικού επιπέδου. Ευθύγραμμη κίνηση στους οριζόντιους άξονες X και Y και στον κατακόρυφο άξονα Z. Μηχανισμός περιστροφής (γωνία θ) στο επίπεδο XY.
- 2) Βάση στήριξης της μάσκας. Mask Holder.
- 3) Οπτικό Σύστημα. Πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας. Ευθυγράμμιση της μάσκας.

Οπτική Λιθογραφία.

Τρόποι εκτύπωσης λιθογραφικού επιπέδου.

Optical Lithography. Exposure Modes.

- 1) Εκτύπωση Επαφής – Contact Printing
- 2) Εκτύπωση Γειτνίασης -Proximity Printing
- 3) Εκτύπωση Προβολής - Projection Printing

Διαφορετικοί τρόποι εκτύπωσης επαφής.

- 1) Soft contact printing
- 2) Hard contact printing
- 3) Vacuum contact printing

Resolution limits.

Resolution limits for the g-line (436 nm) and the i-line (365 nm) of the exposure lamp.

- Soft contact printing < 2.5 μm
- Hard contact printing < 1.5 μm
- Vacuum contact printing < 0.8 μm

Transmission Line Model (TLM)

Κατασκευή ωμικών επαφών ειδικής σχεδίασης.
Υπολογισμός της αντίστασης επαφής του μεταλλικού
ή των διαδοχικών μεταλλικών υμενίων των ωμικών
επαφών με το ημιαγώγιμο υλικό.