

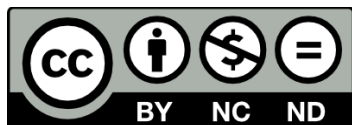


ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ Ι

Ενότητα 10: Κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

Χατζόπουλος Αλκιβιάδης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχ. Υπολογιστών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σχεδιασμός ενοτήτων:

- 1. Ημιαγωγική δίοδος
- 2. Ένωση pn
- 3. Τρανζίστορ FET
- 4. Πόλωση των FET - Ισοδύναμα κυκλώματα
- 5. Ενισχυτές με FET
- 6. Διπολικό τρανζίστορ (BJT)
- 7. Πόλωση των BJT - Ισοδύναμα κυκλώματα
- 8. Ενισχυτές με διπολικά τρανζίστορ
- 9. Ενισχυτές με ενεργό φορτίο
- **10. Κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων**



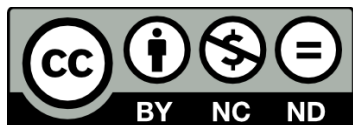


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΚΤΑ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΑ
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΚΥΚΛΩΜΑΤΩΝ



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα ενότητας

1. Εισαγωγή (διαφ. 7- 9)
2. Στάδια κατασκευής (διαφ. 10- 17)
3. Τεχνολογίες CMOS (διαφ. 18- 23)
4. Δομές διπολικών τρανζίστορ (διαφ. 24- 26)
5. Ολοκληρωμένα παθητικά στοιχεία και δίοδοι (διαφ. 27-29)



Κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων



Εικόνα 1: Κατασκευή ολοκληρωμένων
κυκλωμάτων



Ολοκληρωμένα κυκλώματα

Integrated circuits (ICs)

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

- ◆ ΔΙΠΟΛΙΚΑ
- ◆ MOS
- ◆ CMOS
- ◆ BiCMOS
- ◆ GaAs
- ◆ SOI
- ◆ FIN FET
- ◆

ΕΦΑΡΜΟΓΗ

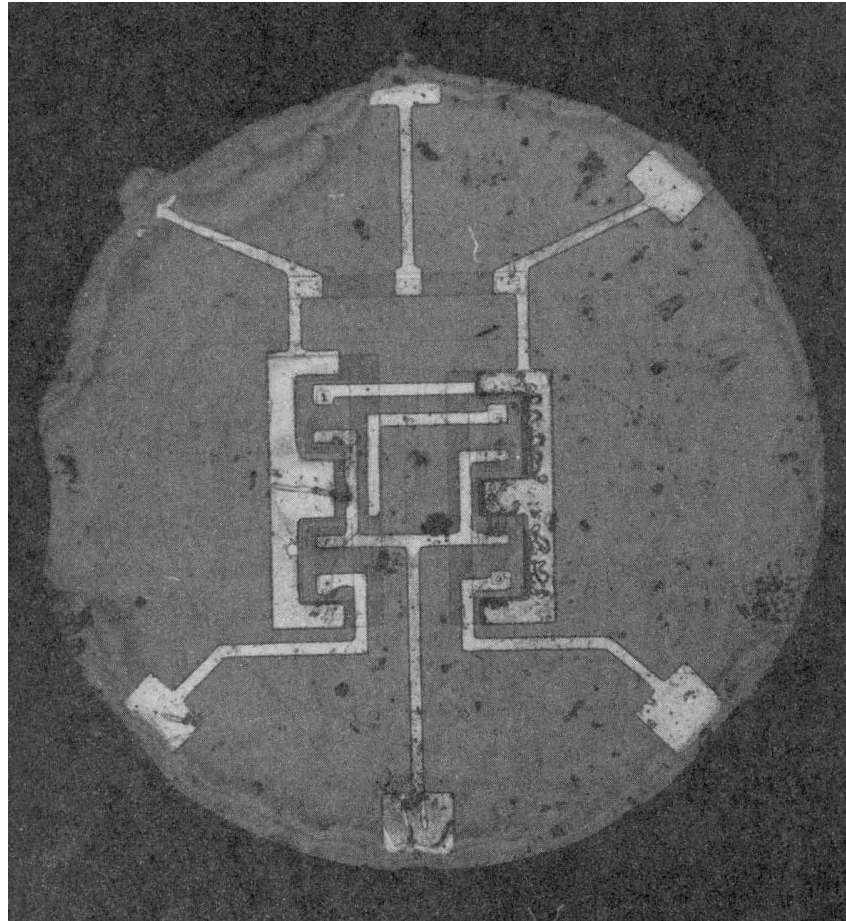
- ◆ ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ
- ◆ ΨΗΦΙΑΚΑ
- ◆ ΜΙΚΤΑ

ΚΛΙΜΑΚΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ

- ◆ SSI
- ◆ MSI
- ◆ LSI
- ◆ VLSI
- ◆ ULSI
- ◆ 3D



Το πρώτο ολοκληρωμένο κύκλωμα



Εικόνα 2: Flip- flop με 6 Τρανζίστορ!

Fairchild Semiconductors, 1959

Ολοκληρωμένα κυκλώματα

Integrated circuits (ICs)

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ

- ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ - ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ.
- ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΧΗΜΑΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ.
- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.
- ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΦΥΣΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ (LAYOUT).
- ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ (ΦΥΣΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ).
- ΠΑΡΑΓΩΓΗ «ΜΑΣΚΩΝ».
- ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.
- ΜΕΤΡΗΣΗ – ΔΟΚΙΜΗ.



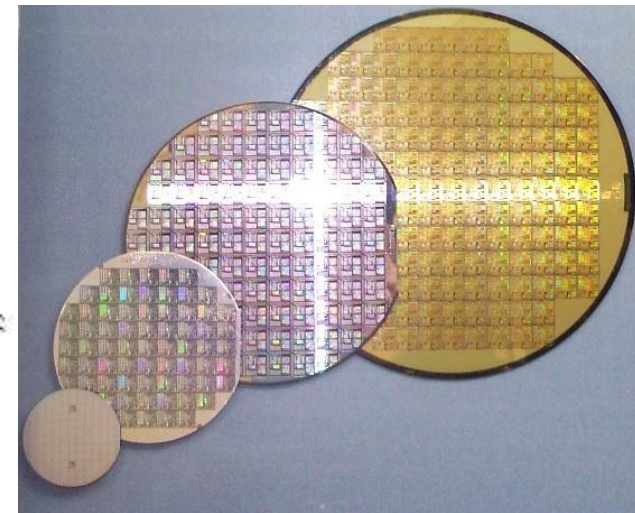
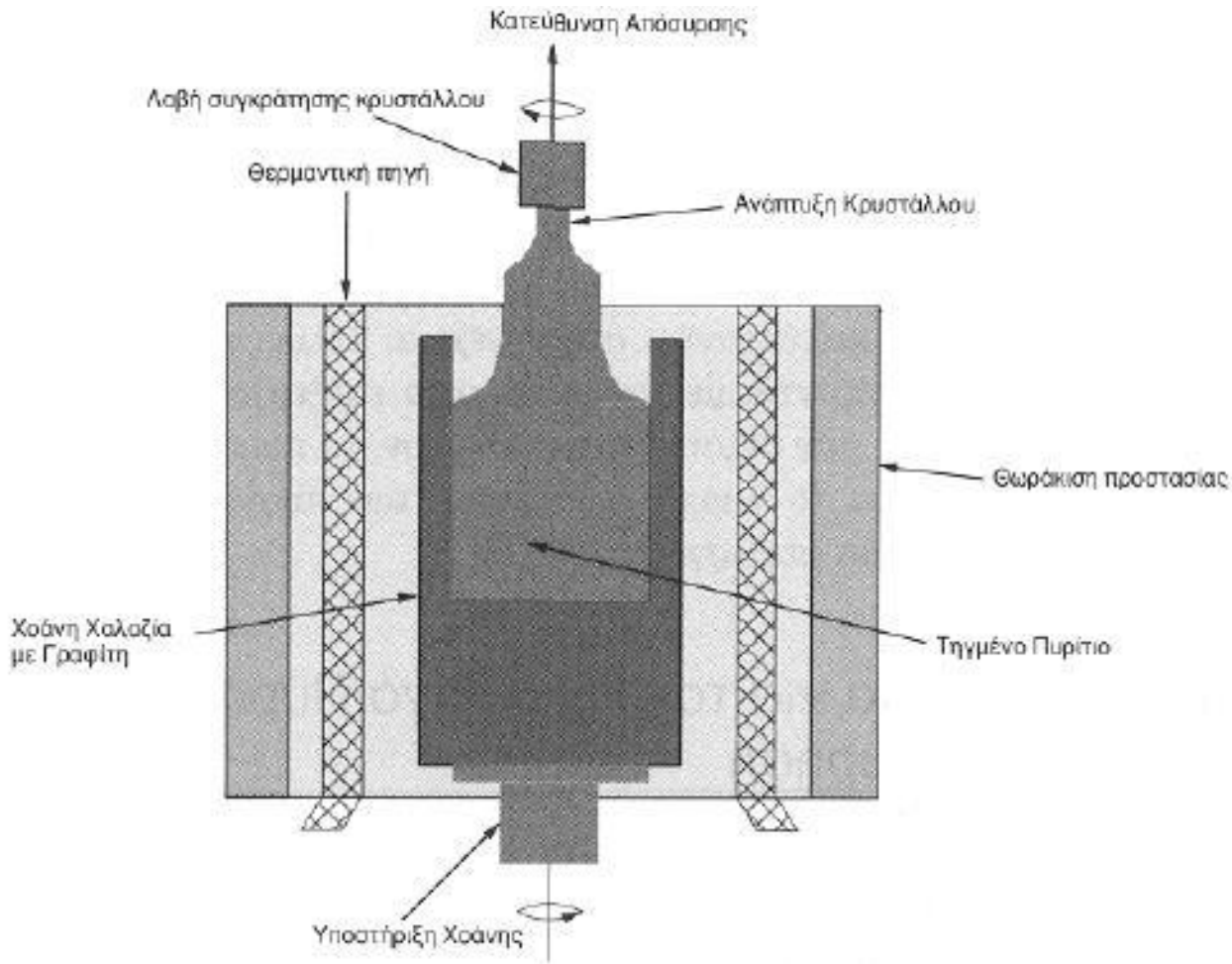
Ολοκληρωμένα κυκλώματα

Στάδια κατασκευής

- ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΠΥΡΙΤΙΟΥ (99,999.....9%) (1420 °C).
- ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΡΑΒΔΟΥ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΟΥ (d μέχρι και 30 εκ.).
- ΚΟΠΗ ΔΙΣΚΙΩΝ ΠΥΡΙΤΙΟΥ (WAFERS).
- ΕΠΙΤΑΞΙΑΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΤΡΩΜΑΤΟΣ ΠΥΡΙΤΙΟΥ.
- ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΟΞΕΙΔΙΟΥ SiO_2 .
- ΛΙΘΟΓΡΑΦΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ (ΦΩΤΟΛΙΘΟΓΡΑΦΙΑ - ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΛΙΘΟΓΡΑΦΙΑ).
- ΜΕΤΡΗΣΗ – ΔΟΚΙΜΗ.
- ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΣΕ ΠΛΑΚΙΔΙΑ (CHIPS).
- ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑ.
- ΜΕΤΡΗΣΗ – ΔΟΚΙΜΗ.



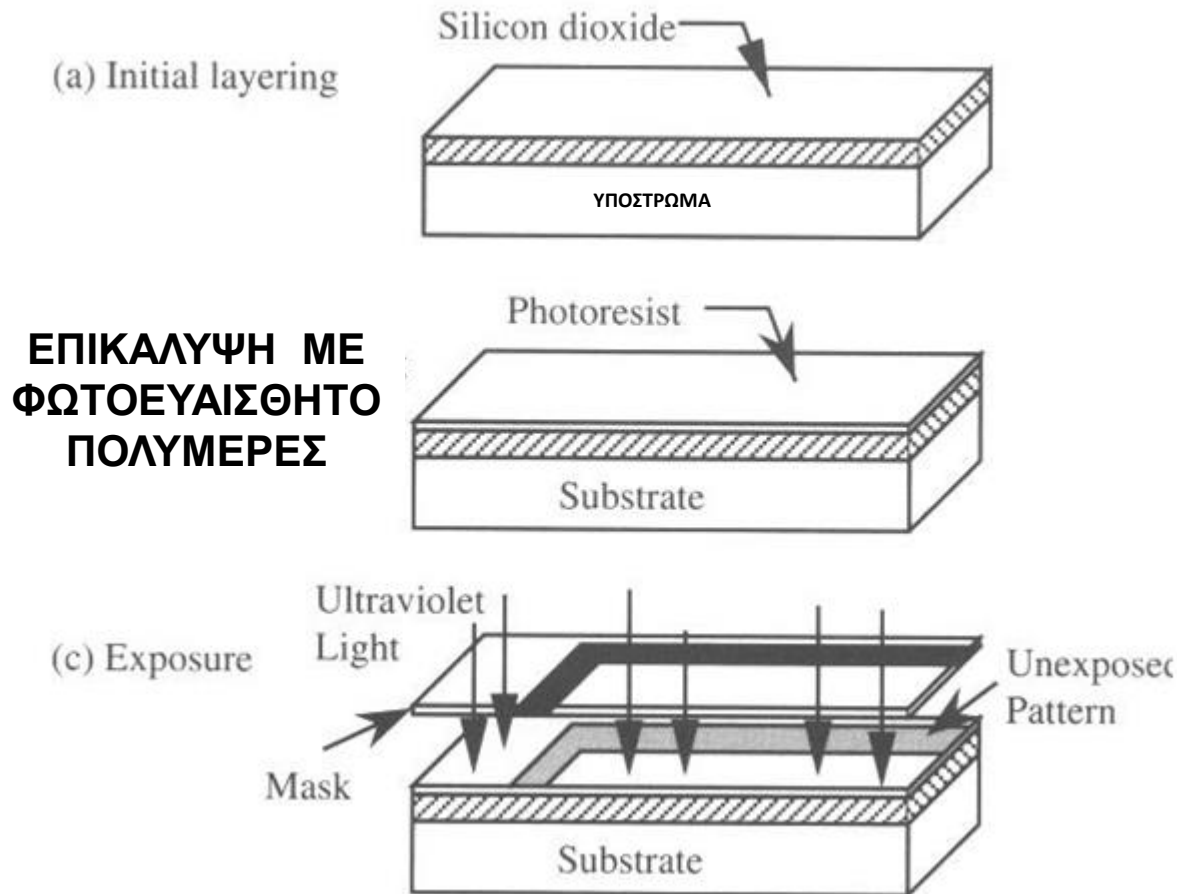
Κατασκευή δίσκου πυριτίου (wafer)



Εικόνα 3: Wafer



Στάδια φωτολιθογραφικής επεξεργασίας για κατασκευή διαχύσεων (1/2)

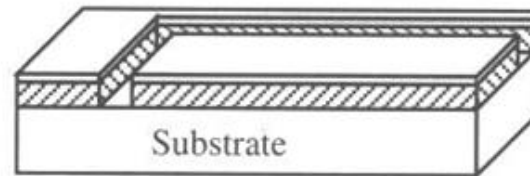


Σταδία φωτολιθογραφικής επεξεργασίας για κατασκευή διαχύσεων (2/2)

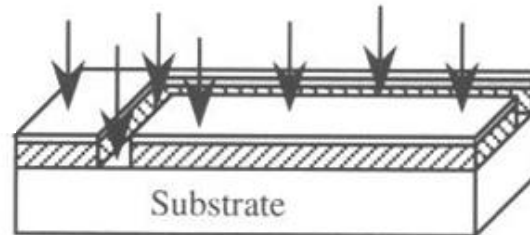
(d) After development



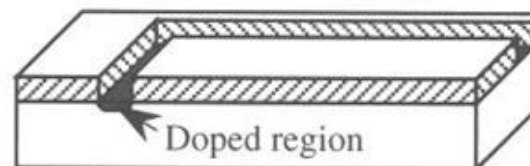
ΧΑΡΑΞΗ



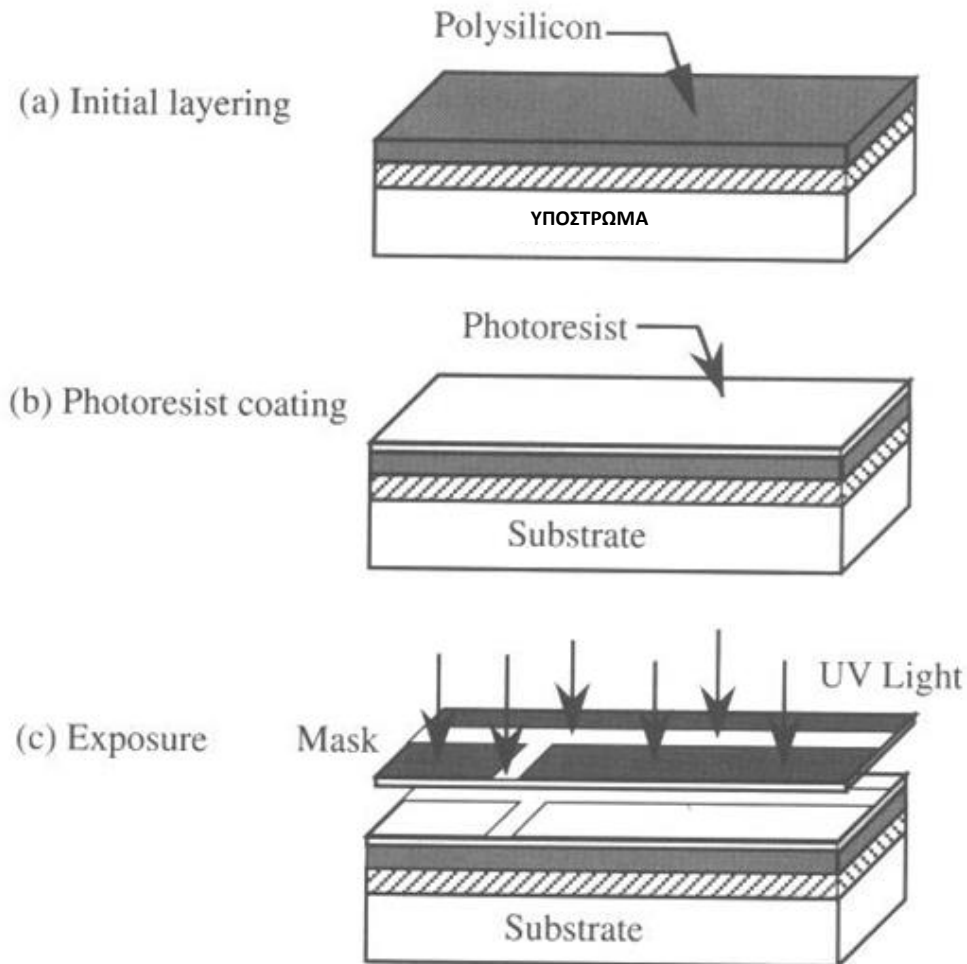
- ΙΟΝΙΚΗ ΕΜΦΥΤΕΥΣΗ
- ΔΙΑΧΥΣΗ



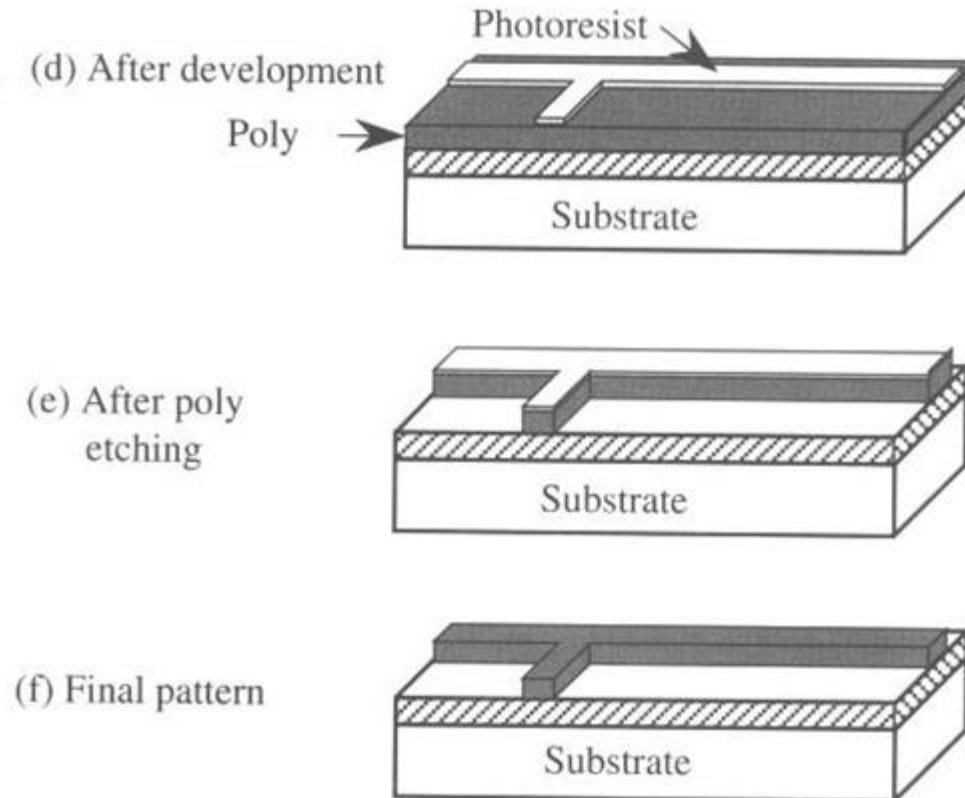
(g) After doping



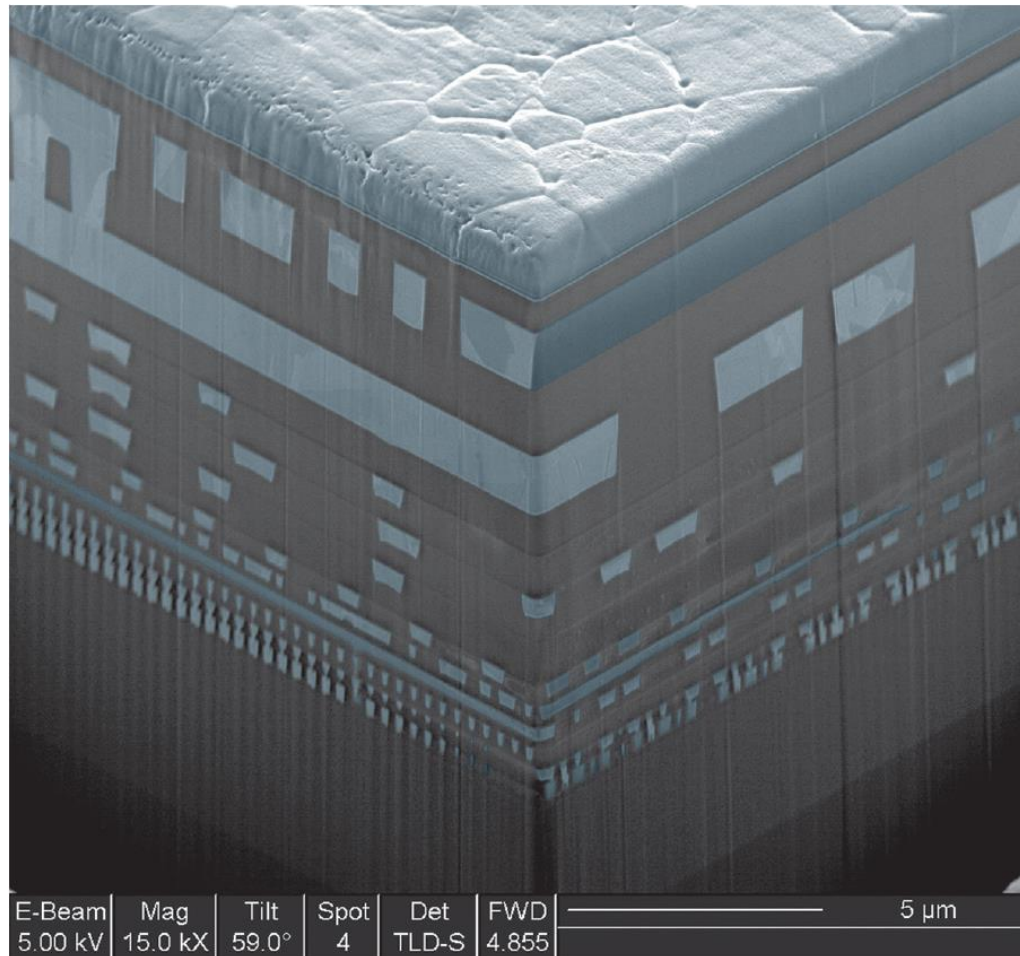
Στάδια λιθογραφίας για στρώσεις πολυκρυσταλικού πυριτίου και μετάλλου (Al, Cu, Au) (1/2)



Στάδια λιθογραφίας για στρώσεις πολυκρυσταλικού πυριτίου και μετάλλου (Al, Cu, Au) (2/2)

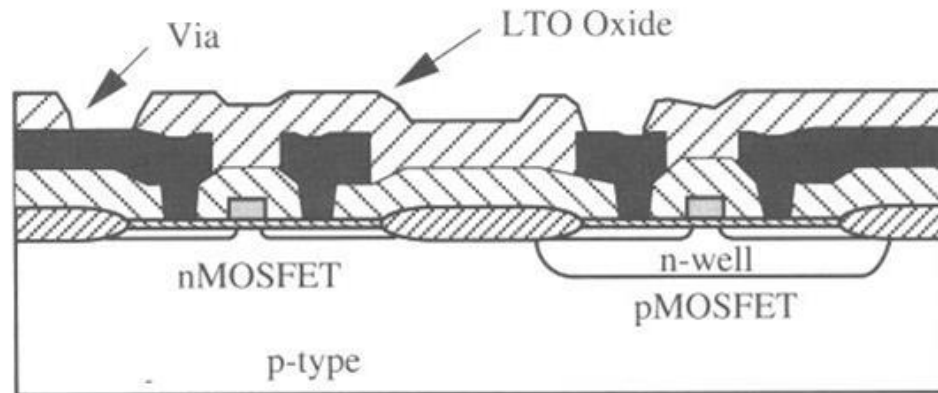


Τομή ολοκληρωμένου με 11 επίπεδα μετάλλου

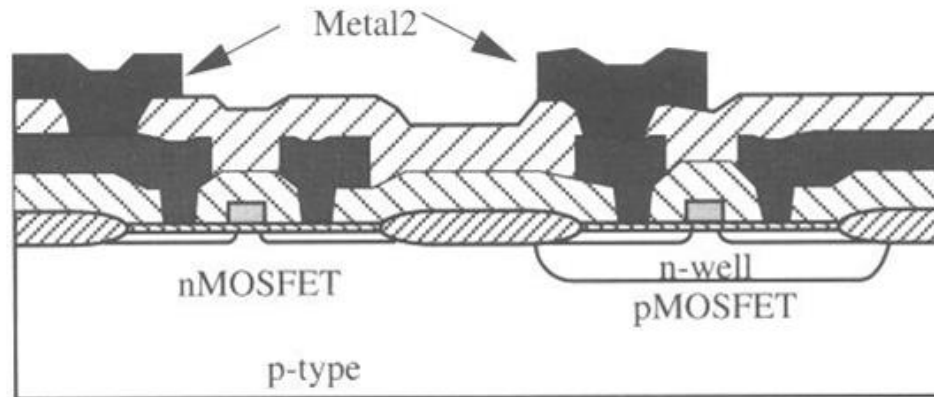


Εικόνα 4: Τομή ολοκληρωμένου με 11 επίπεδα μετάλλου

Δομή CMOS (Complementary MOS)



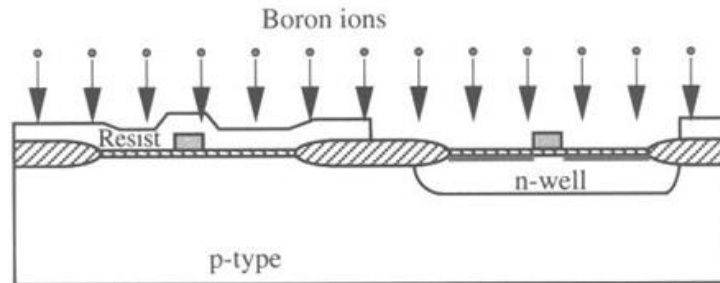
(a) LTO oxide and VIA definitions



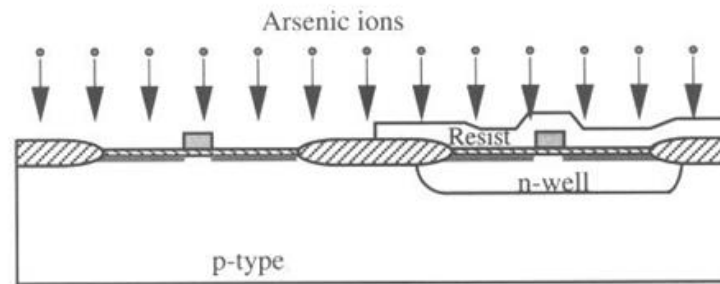
(b) Metal 2 Deposition



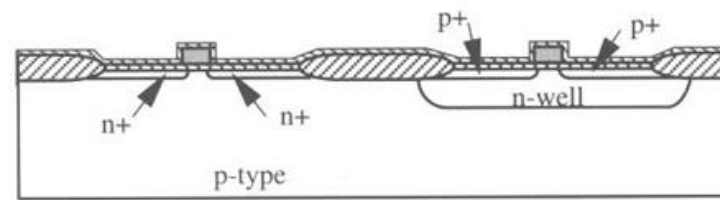
Ιονική εμφύτευση για δημιουργία πηγής/εκροής



(a) Boron p+ implant



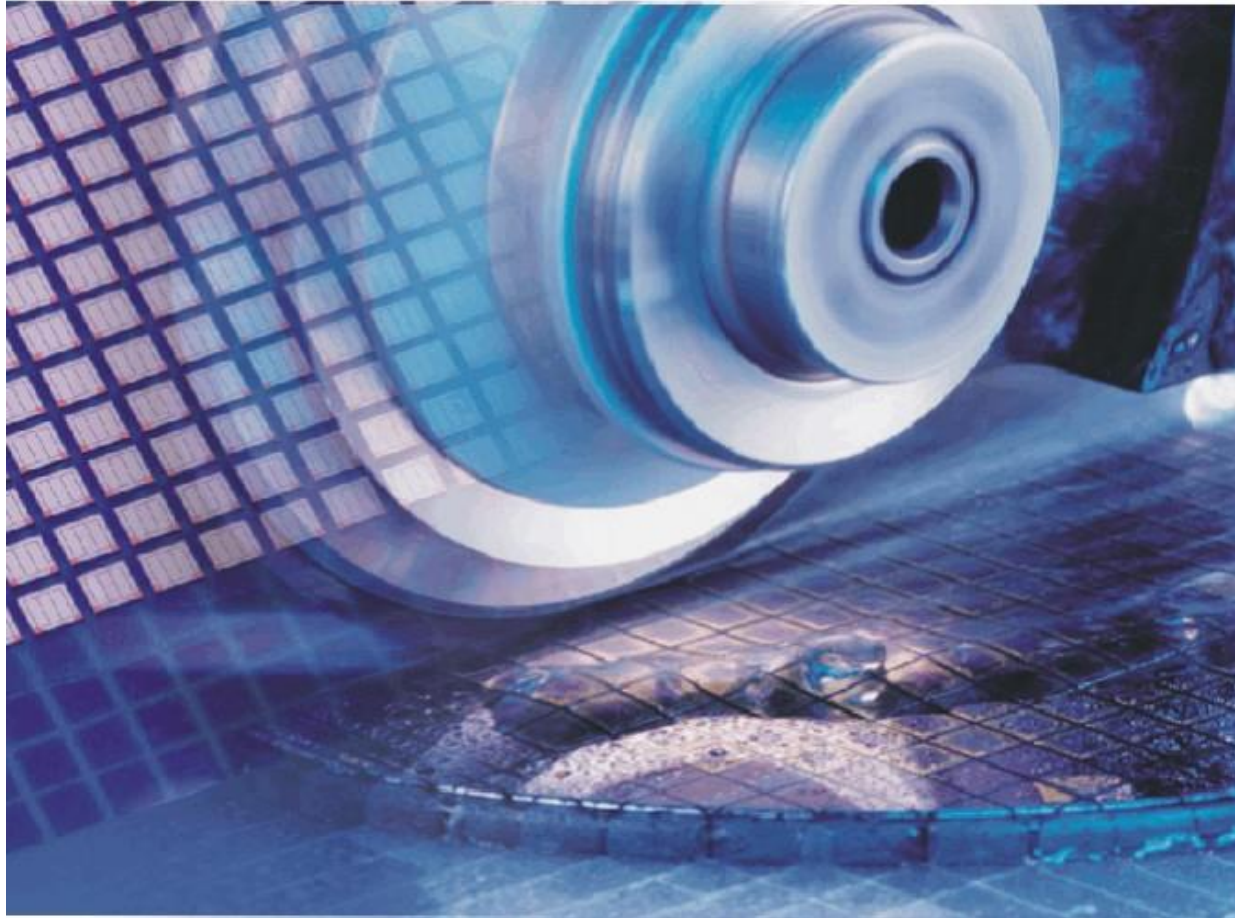
(b) Arsenic n+ implant



(c) After annealing



Διαχωρισμός του δίσκου (wafer) σε πλακίδια (chips)



Εικόνα 5: Διαχωρισμός του δίσκου (wafer) σε
πλακίδια (chips)

Χαρακτηριστικά τεχνολογίας CMOS

- Η τεχνολογία CMOS παρουσιάζει την υψηλότερη πυκνότητα ολοκλήρωσης και την χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος ανά πύλη.
- Στάθμες πλήρους αποκαταστάσιμης λογικής (έξοδος στο V_{dd} ή V_{ss}).
- Οι χρόνοι ανόδου/καθόδου είναι της ίδιας τάξης.
- Μεγάλη πυκνότητα ολοκλήρωσης και χαμηλή κατανάλωση μνημών.
- Σωστή μετάδοση και των δύο λογικών σταθμών (0, 1) από πύλες μετάδοσης (πολυπλέκτες, μανταλωτές, καταχωρητές).
- Μηδενική στατική κατανάλωση ισχύος (πλήρης συμπληρωματικότητα).
- Κανονικές και εύκολα αυτοματοποιήσιμες φυσικές σχεδιάσεις.



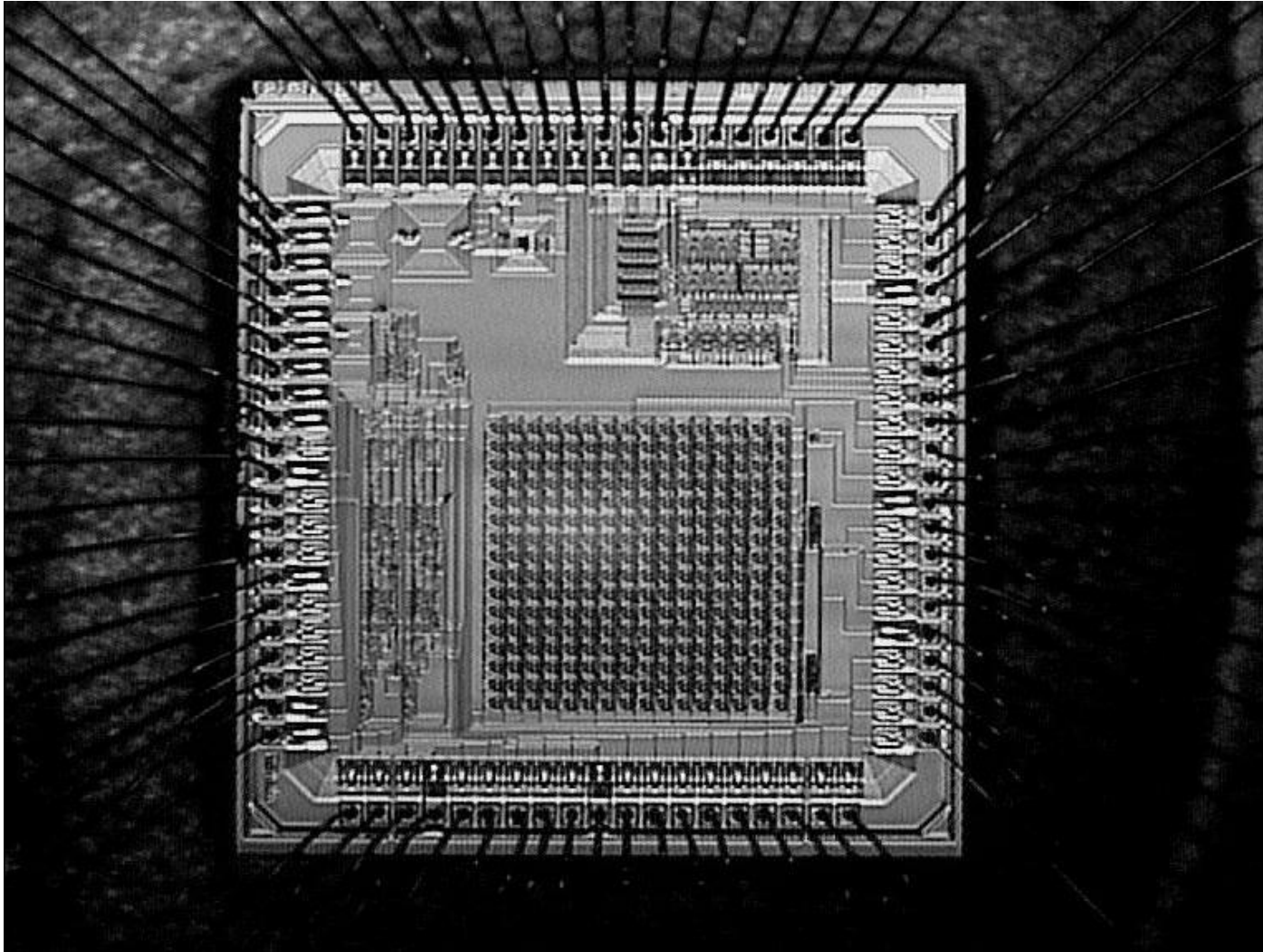
Περιγραφή τεχνολογίας CMOS

- ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΡΙΑ ΕΤΑΙΡΕΙΑ.
- ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΜΗΚΟΣ ΚΑΝΑΛΙΟΥ (π.χ. 65 nm).
- ΤΥΠΟΣ ΠΗΓΑΔΙΟΥ (n-well, p-well).
- ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΠΟΛΥΠΥΡΙΤΙΟΥ.
- ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΥ.

Παράδειγμα : AMS CMOS 0.35 μ , n-well, DPTM



Ολοκληρωμένο κύκλωμα σε τεχνολογία AMS CMOS 0.6μ, n-well, DPTM



Εικόνα 6: 1^ο ολοκληρωμένο κύκλωμα που κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο Ηλεκτρονικής

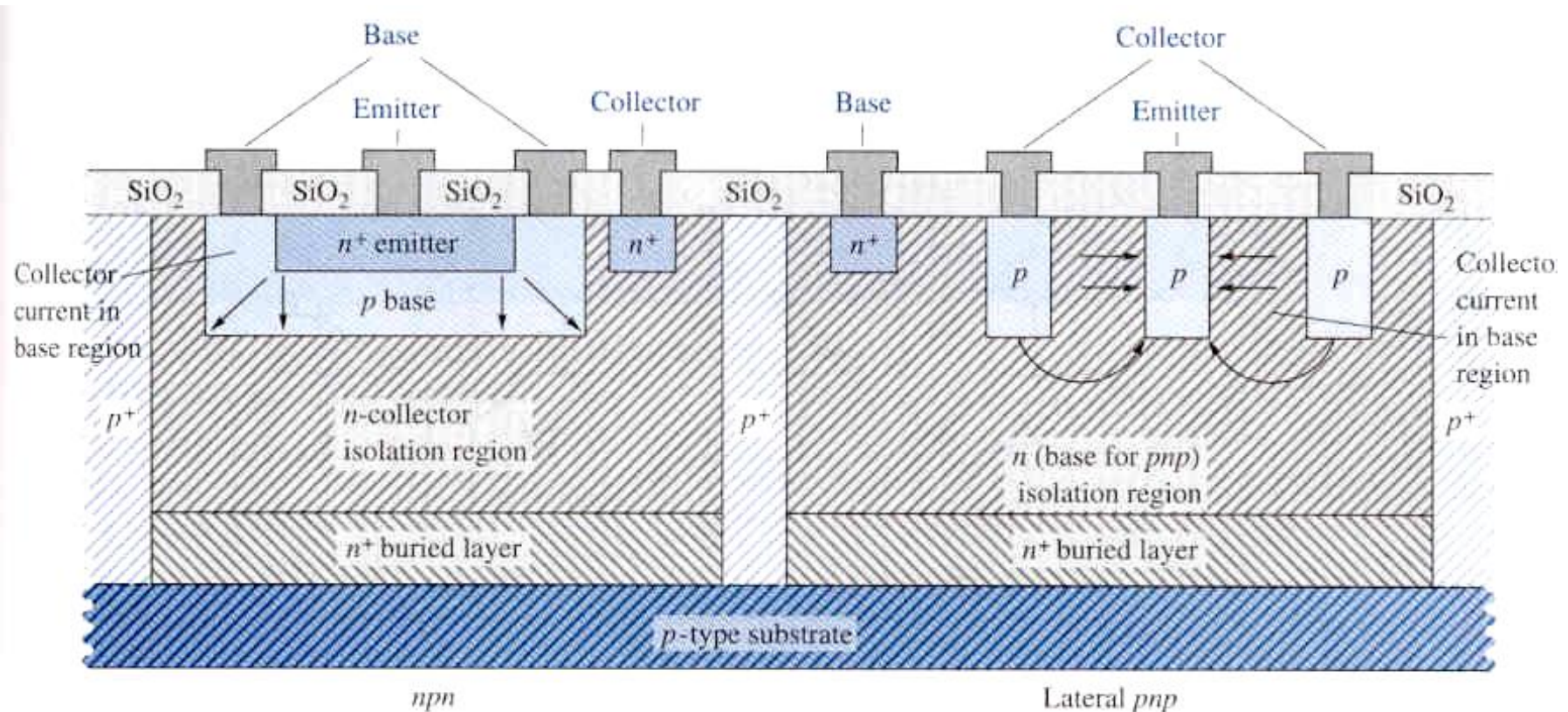


Διπολικά τρανζίστορ (1/3)

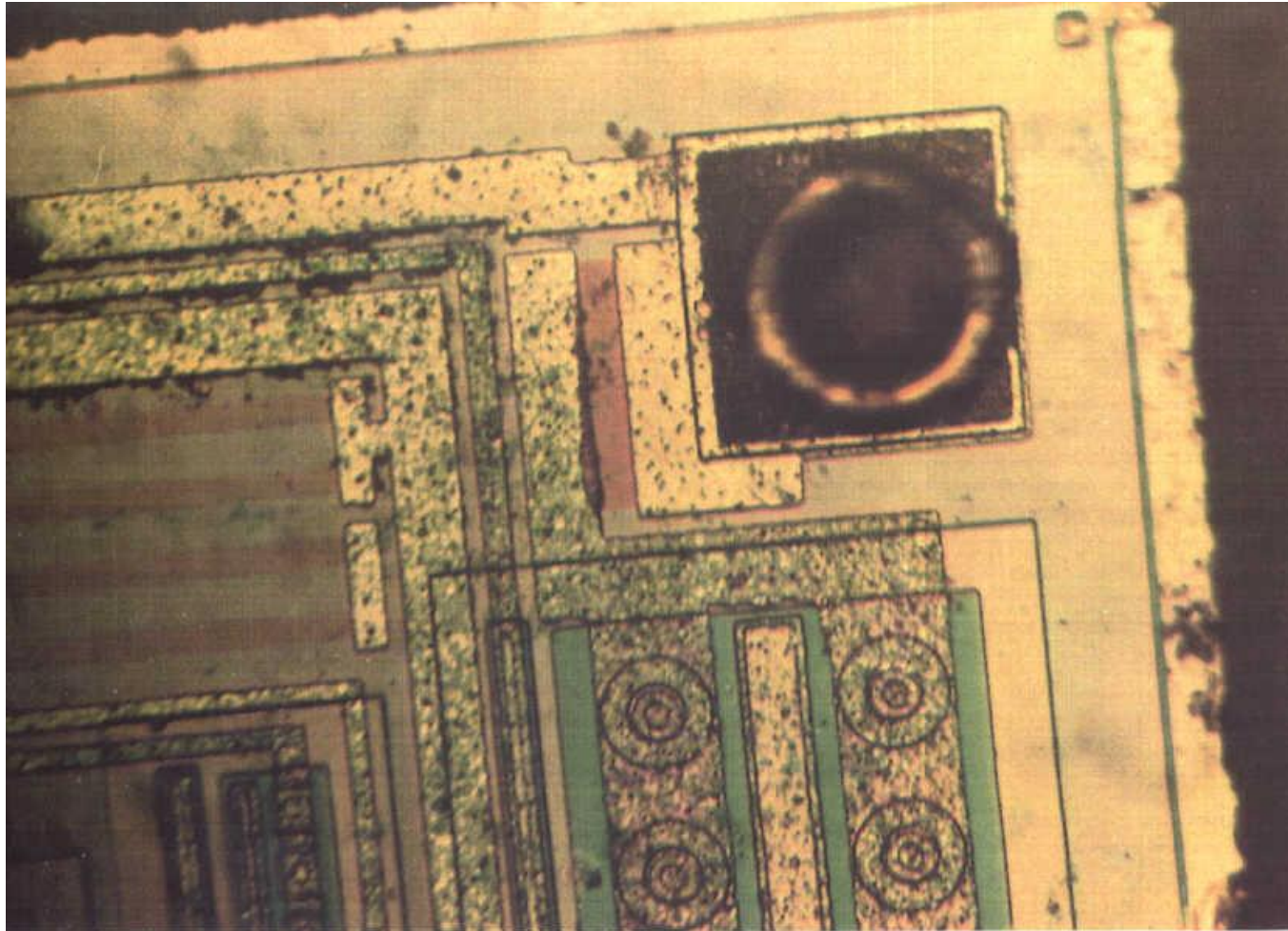
- ΠΟΛΛΑΠΛΩΝ ΑΚΡΟΔΕΚΤΩΝ.
- ΚΑΘΕΤΟ (VERTICAL).
- ΠΛΕΥΡΙΚΟ (LATERAL).
- ΔΟΜΗ I^2L .



Διπολικά τρανζίστορ (2/3)



Διπολικό τρανζίστορ (3/3)

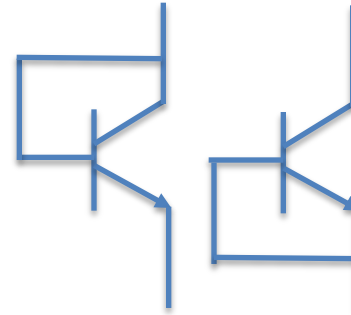


Εικόνα 7: Διπολικό τρανζίστορ



Άλλα ολοκληρωμένα εξαρτήματα

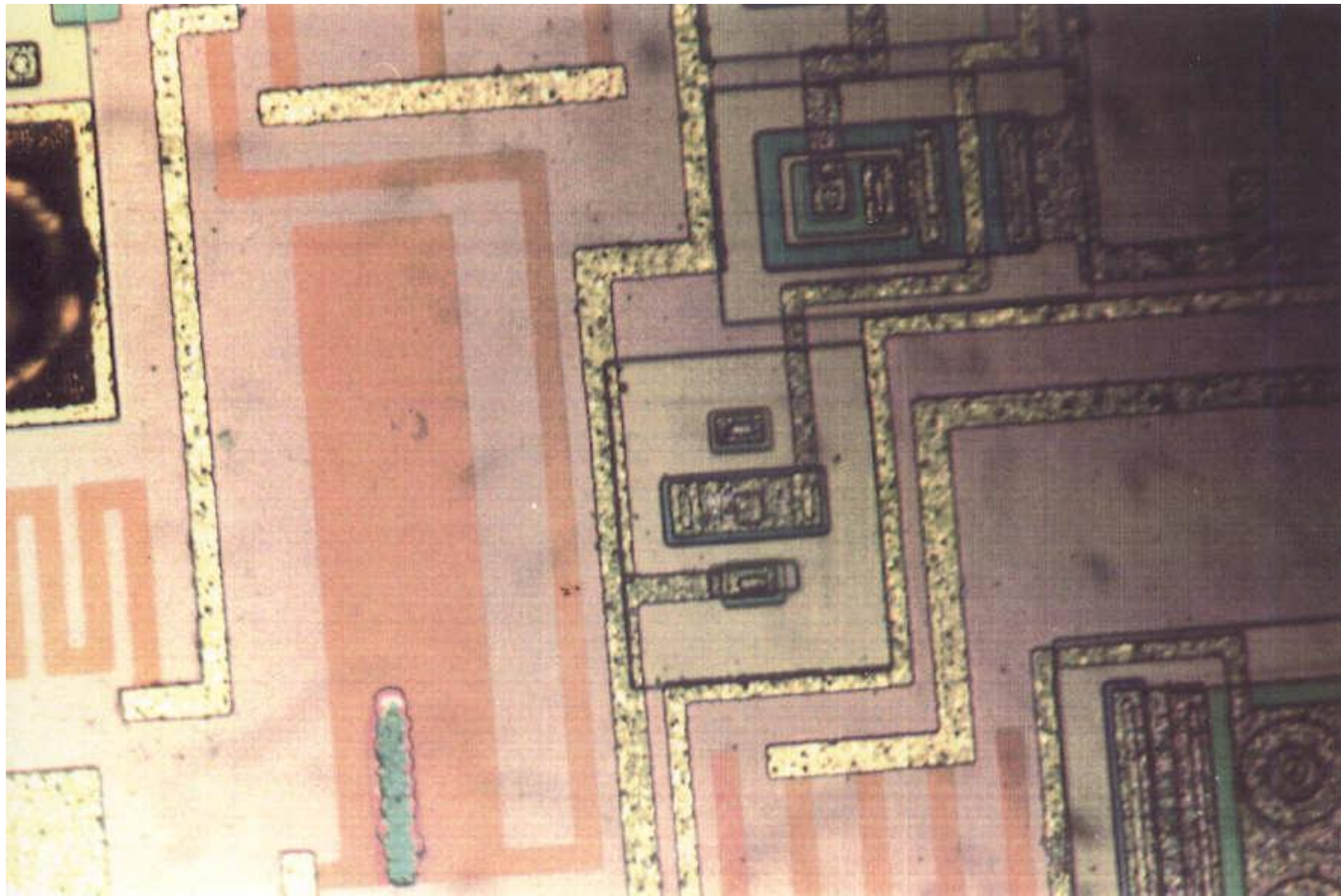
- ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΕΣ ΔΙΟΔΟΙ.



- ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ $R = \rho (L/S)$:
 - ΜΕΤΑΛΛΟΥ (laser trimming).
 - ΠΟΛΥΠΥΡΙΤΙΟΥ.
 - ΔΙΑΧΥΣΗΣ.
- ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟΙ ΠΥΚΝΩΤΕΣ:
 - Poly1 – ΥΠΟΣΤΡΩΜΑ.
 - Poly2 - Poly1.



Ολοκληρωμένη αντίσταση με laser trimming

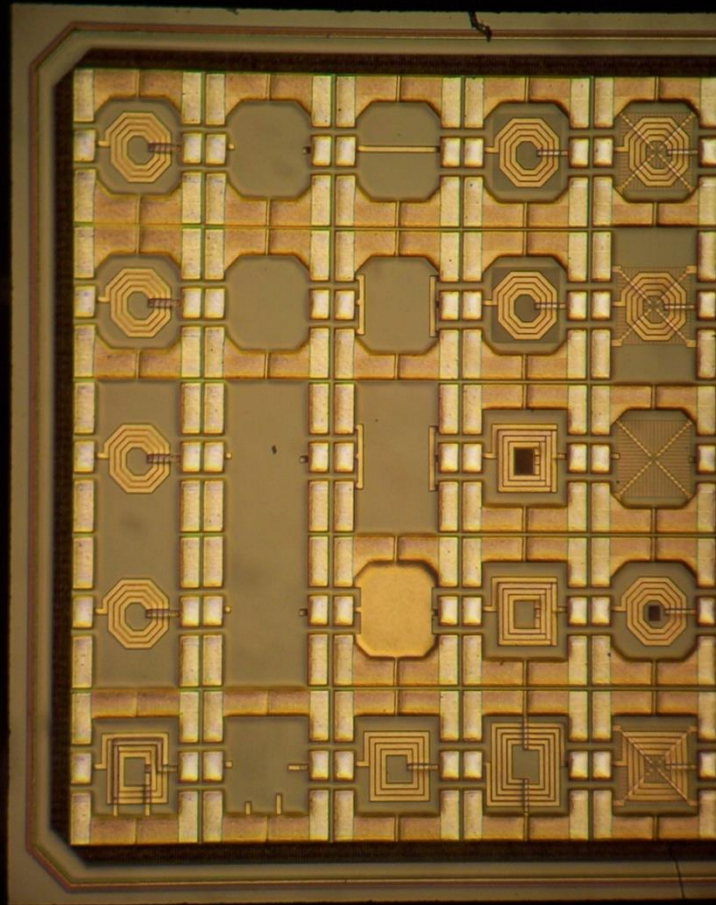


laser trimming

Εικόνα 8: Laser trimming



Ολοκληρωμένες επαγωγές



AMIS 0.5 μ m CMOS
3M1P

Twin-tub technology

Metal 3

(underpass M2)

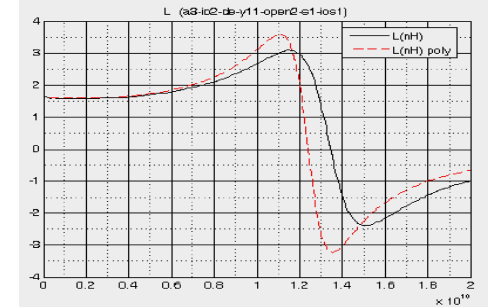
inductor 3.5 turns

12 μ m metal width

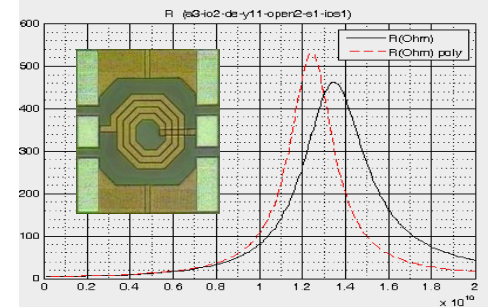
2 μ m space

160 μ m external dim.

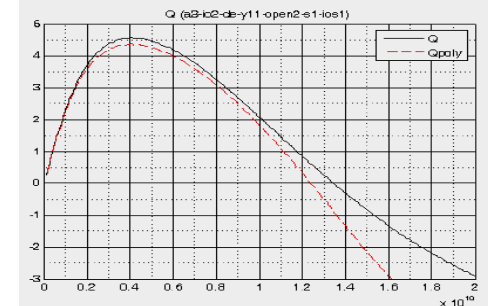
Patterned ground
shields (poly) with
"fingers" vertical to the
coil lines not forming
any loop



(a)



(b)



(c)

Εικόνα 9: Ολοκληρωμένες επαγωγές



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/3)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1:

Κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων : <http://phys.org/news/2010-11-chip-technology-internet-users.html>

- Εικόνα 2:

Flip- flop με 6 Τρανζίστορ! Fairchild Semiconductors, 1959:

<http://ds.haverford.edu/bitbybit/bit-by-bit-contents/chapter-eight/8-1-early-research-in-electronics/>

- Εικόνα 3:

Wafer: http://en.wikipedia.org/wiki/Wafer_%28electronics%29

- Εικόνα 4:

Τομή ολοκληρωμένου με 11 επίπεδα μετάλλου:

<http://smarterplanet.com/blog/2010/11/new-chips-needed-to-power-the-internet-of-things.html>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/3)

- Εικόνα 5:

Διαχωρισμός του δίσκου (wafer) σε πλακίδια (chips):

<http://www.sawstreet.com/index.php/services/inspection/23-services>

- Εικόνα 6:

1ο ολοκληρωμένο κύκλωμα που κατασκευάστηκε στο Εργαστήριο Ηλεκτρονικής:
Από έργα του Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής, ΤΗΜΜΥ, ΑΠΘ

- Εικόνα 7:

Διπολικό τρανζίστορ: Από έργα του Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής, ΤΗΜΜΥ, ΑΠΘ

- Εικόνα 8:

Laser trimming: Από έργα του Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής, ΤΗΜΜΥ, ΑΠΘ



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/3)

- Εικόνα 9:

Ολοκληρωμένες επαγωγές: Από έργα του Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής, ΤΗΜΜΥ, ΑΠΘ



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζόπουλος Αλκιβιάδης. «ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ Ι, Κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015 Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: http://opencourses.auth.gr/eclass_courses.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

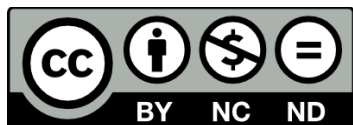
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, Εαρινό εξάμηνο 2015





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

