Εισαγωγή Σε Ολοκληρωμένα Κυκλώματα (Microchips)

Δρ. Ιούλιος Γεωργίου

Further Reading Texts:

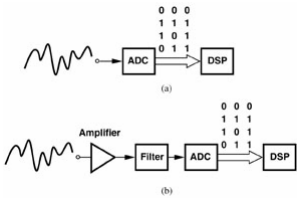
"Design of Analog CMOS Integrated Circuits" ***Behzad Razavi***

" Microelectronic Circuits", ***Sedra & Smith***

Αναλογικά ή Ψηφιακά Κυκλώματα;

- **Αρνητικές Προβλέψεις ~ 1980**
- **Ψηφιακά κυκλώματα διαδίδονται ραγδαία**

Όμως ....



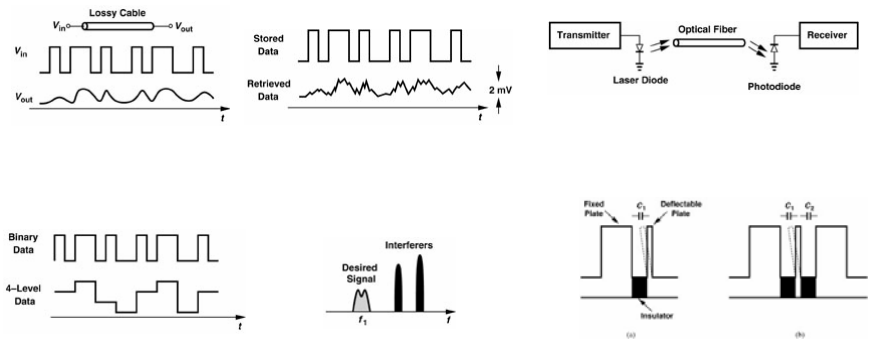
Στη φύση όλα τα σήματα είναι αναλογικά...

Π.χ. Ο ήχος, ο σεισμογράφος, τα ραδιοκύματα, η θερμοκρασία.. κ.α.

Copyrighted © Images reproduced with kind permission of The McGraw-Hill Companies, Inc.

Καθημερινά Παραδείγματα

- **Στα όρια, τα ψηφιακά σήματα αρχίζουν να μοιάζουν με αναλογικά**



Copyrighted © Images reproduced with kind permission of The McGraw-Hill Companies, Inc.

Γιατί Ολοκληρωμένα Κυκλώματα;

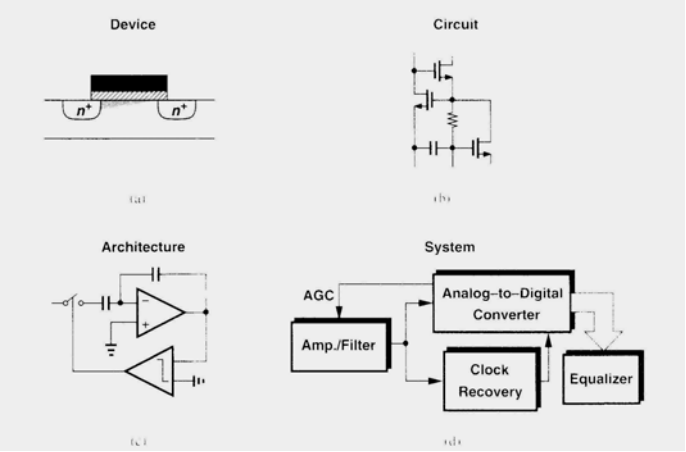
- **Εξοικονόμηση χώρου**
  - 10,000,000 στοιχεία σε ένα τσιπ
- **Εξοικονόμηση ισχύος**
  - Φορητές συσκευές π.χ. Τηλέφωνα
- **Χαμηλότερο κόστος παραγωγής**
- **Πιο ταχύ στοιχεία & συστήματα!**
- **Αξιοπιστία!**

Τι στοιχεία βρίσκονται σε Ολοκληρωμένα Κυκλώματα;

- Αντιστάσεις
- Τρανζίστορ
- Σύρματα
- Δίοδοι
- Πυκνωτές

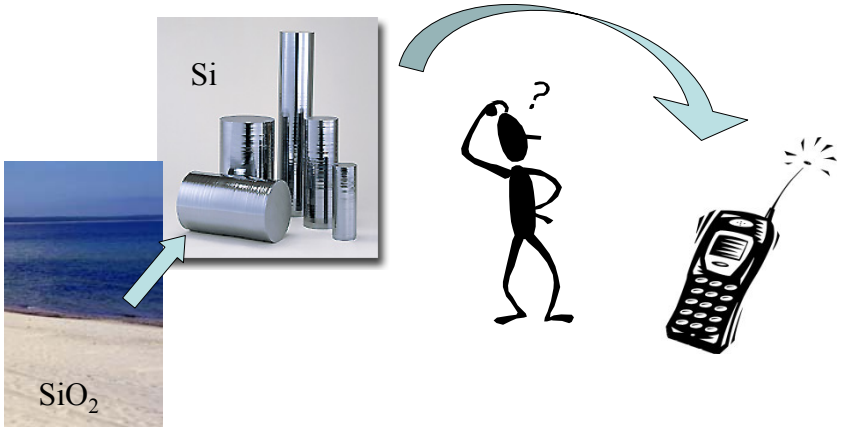
Copyrighted © Images reproduced with kind permission of The McGraw-Hill Companies, Inc.

Επίπεδα Απεικόνισης Ηλεκτρονικών



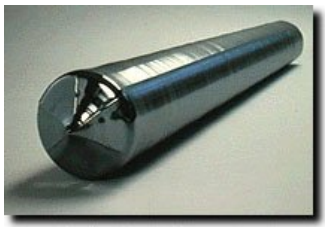
Copyrighted © Images reproduced with kind permission of The McGraw-Hill Companies, Inc.

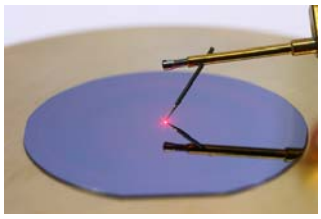
Τεχνολογία Κατασκευής Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων



Προετοιμασία του Δίσκου (Wafer)

- Κόκκος καθαρού κρυστάλλου Si αναρτάται σε δοχείο με λιωμένο Si
- Τραβιέται σιγά σιγά ενώ περιστρέφεται
- Λειαινάρεται στη σωστή διάμετρο
- Τεμαχίζεται κύλινδρος Si (ενός κρυστάλλου)
- 10-30cm διάμετρο
- Wafer ~200-600μm πάχους
- Νόθευση (doping)





Οξείδωση

- Χημική διαδικασία: $Si + O_2 \Rightarrow SiO_2$
- 1000~1200°C (ξηρό O_2 η υδρατμός H_2O)
- SiO_2 είναι μονωτικό (10^7 V/cm)
- Προστατεύει από ακαθαρσίες
- Προστατεύει υπόστρωμα από νοθεύσεις
- Κατασκευή πυκνωτών

Διάχυση

Διάχυση είναι η διαδικασία με την οποία τα άτομα κινούνται μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα

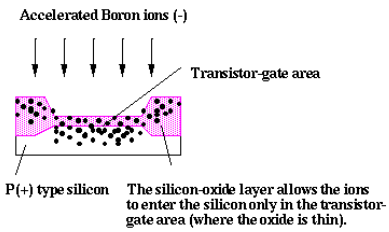
Σχετίζεται με ελεγχόμενες νοθεύσεις

- Βόριο (B) – 3η Ομάδα ⇒ τύπου-p νόθευση
- Φωσφόρος (P) – 5η Ομάδα ⇒ τύπου-n νόθευση
- Αρσενικό (As) – 5η Ομάδα ⇒ τύπου-n νόθευση

Ρυθμός διάχυσης σχετίζεται

- με θερμοκρασία (1000-1200°C)
- Πυκνότητα της νόθευσης

Εμφύτευση Ιόντων



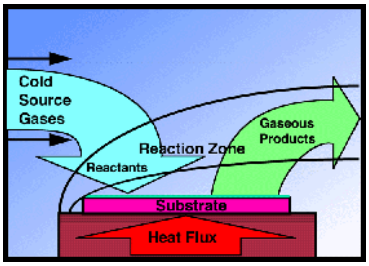
- Παραγωγή Ιόντων
- Επιτάχυνση με πεδίο
- Σε θερμοκρασίες δωματίου
- Βάθος => ενέργεια δέσμης
- Πλήθος => ρεύμα δέσμης
- Ακριβέστερη μέθοδος από διάχυση

Χημική Εναπόθεση Αναθυμιάσεων
(Chemical Vapor Deposition)

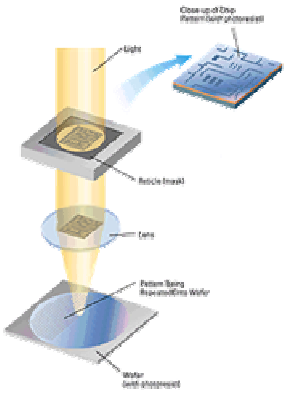
CVD είναι η διαδικασία με την οποία αέρια η αναθυμιάσεις αντιδρούν χημικά, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός στερεού στρώματος πάνω σε υπόστρωμα

Π.χ.

- SiO_2
- Si_3N_4
- Πολυκρυσταλλικό Πυρίτιο



Φωτολιθογραφία

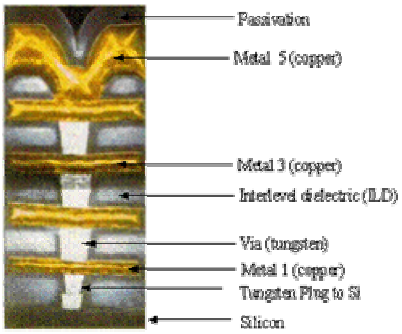


- μάσκα από γυαλί και χρώμιο
- Σμίκρυνση σχεδίου
- Φωτοευαίσθητο στρώμα σε όλη τη επιφάνεια
- Εκτίθεται σε χημικά που χαράσσουν ευαίσθητες περιοχές

13

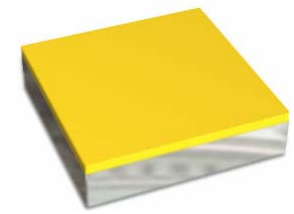
Επιμετάλλωση

- Επιτρέπει την διασύνδεση των στοιχείων
- Αλουμίνιο (Al) ή πιο πρόσφατα Χαλκός (Cu), Βολφράμιο (W)
- Τοποθετείται σε όλη την επιφάνεια με εξάτμιση και εναπόθεση
- Αφαιρείται επιλεκτικά από εκεί που δεν χρειάζεται με φωτολιθογραφία

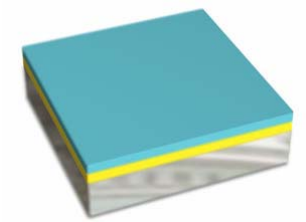


14

Κατασκευή MOSFET τύπου NMOS



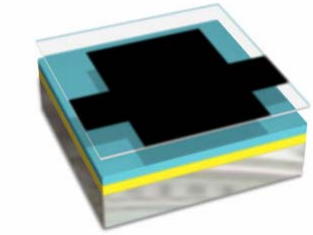
Με CVP τοποθετείται μονωτικό στρώμα SiO_2 (κίτρινο) σε όλο τον δίσκο που είναι ελαφρός θετικού τύπου (p-)



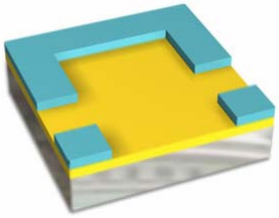
Τοποθετείται στρώμα φωτοαντιδραστικό υλικό, ευαίσθητο σε υπεριώδεις ακτίνες

15

Κατασκευή MOSFET τύπου NMOS



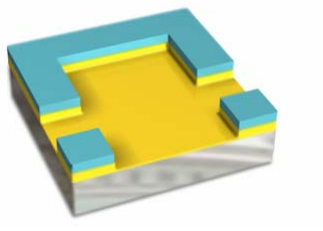
Η πρώτη μάσκα τοποθετείται από πάνω και εκτίθεται σε υπεριώδεις ακτίνες. Περιοχές που εκτέθηκαν σκληραίνουν ενώ οι άλλες μένουν μαλακές (negative photo resist)

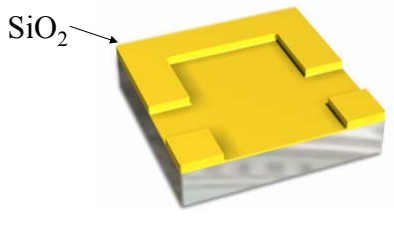


Οι μαλακές περιοχές φωτοαντιδραστικού υλικού διαβρώνονται όταν πλένονται με διαλυτή

16

Κατασκευή MOSFET τύπου NMOS

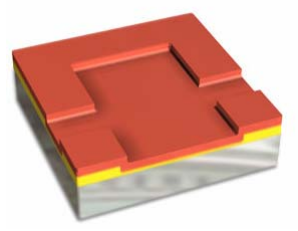


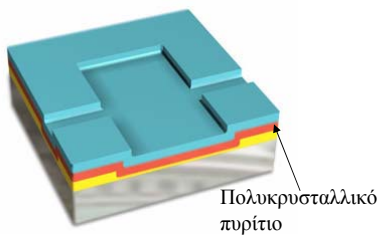


Το εκτεθειμένο στρώμα SiO_2 διαβρώνεται με χημικά αέρια, αφήνοντας μόνο ένα λεπτό στρώμα για μόνωση

Το σκληρό φωτοαντιδραστικό υλικό αφαιρείται με ειδικό διαλυτή

Κατασκευή MOSFET τύπου NMOS

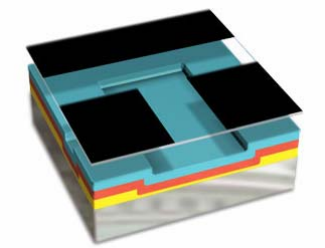




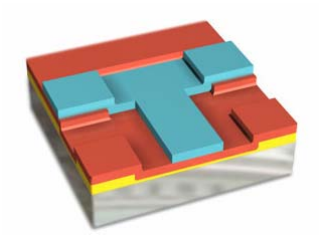
Εναποθέτεται στρώμα πολυκρυσταλλικού πυρίτιου σε όλη την επιφάνεια (Αυτό είναι το υλικό της πύλης)

Τοποθετείται το δεύτερο στρώμα φωτοαντιδραστικού υλικού.

Κατασκευή MOSFET τύπου NMOS



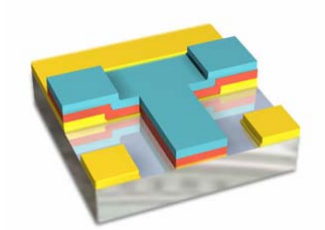
Η δεύτερη μάσκα τοποθετείται από πάνω και εκτίθεται σε υπεριώδεις ακτίνες. Περιοχές που δεν εκτέθηκαν μένουν μαλακές ενώ οι άλλες σκληραίνουν



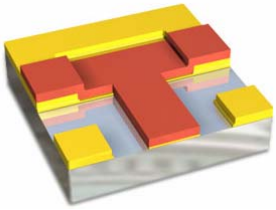
Οι μαλακές περιοχές φωτοαντιδραστικού υλικού αφαιρούνται όταν πλένονται με διαλυτή

19

Κατασκευή MOSFET τύπου NMOS



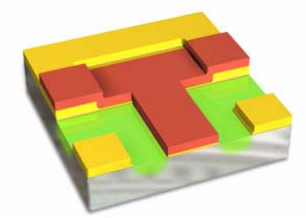
Αφαιρείται με «φρέζα ιόντος» (ion mill) το εκτεθειμένο πολυκρυσταλλικό πυρίτιο και ένα λεπτό στρώμα SiO_2.



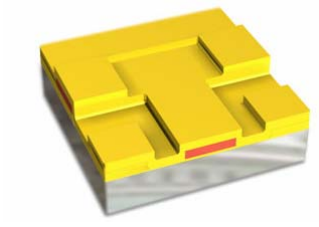
Το σκληρό φωτοαντιδραστικό υλικό αφαιρείται με ειδικό διαλυτή

20

Κατασκευή MOSFET τύπου NMOS



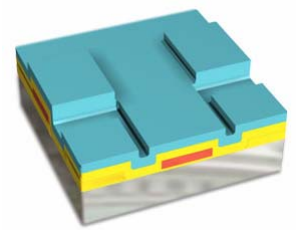
Διάχυση Φωσφόρου δημιουργεί πηγάδι (πράσινο) αρνητικού τύπου (n^+)



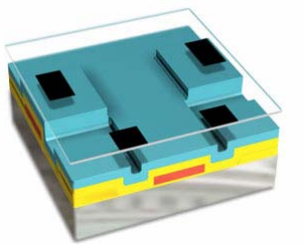
Τοποθετείται δεύτερο μονωτικό στρώμα SiO_2 (κίτρινο) σε όλο τον δίσκο

21

Κατασκευή MOSFET τύπου NMOS



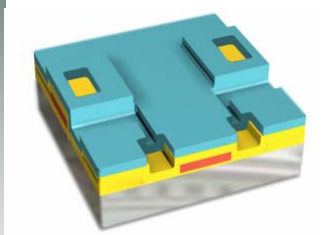
Τοποθετείται το τριτο στρώμα φωτοαντιδραστικού υλικού, για να διευκρινιστεί που θα μπουν οι οπές διασύνδεσης (vias) για πρόσβαση στη πύλη και στα πηγάδια



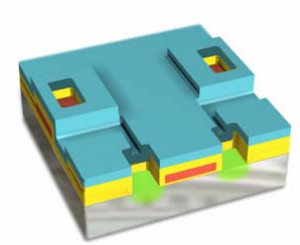
Η τρίτη μάσκα τοποθετείται από πάνω και εκτίθεται σε υπεριώδεις ακτίνες. Περιοχές που δεν εκτέθηκαν μένουν μαλακές ενώ οι άλλες σκληραίνουν

22

Κατασκευή MOSFET τύπου NMOS



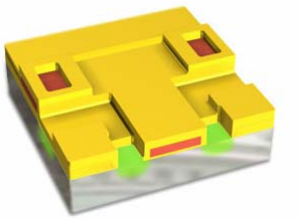
Οι μαλακές περιοχές φωτοαντιδραστικού υλικού αφαιρούνται όταν πλένονται με διαλυτή



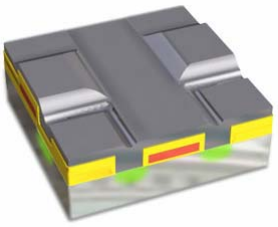
Αφαιρείται με «φρέζα ιόντος» (ion mill) το εκτεθειμενο SiO_2 και λεπτό στρώμα και δημιουργεί πρόσβαση στη πύλη και στα πηγάδια

23

Κατασκευή MOSFET τύπου NMOS



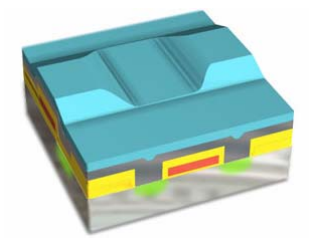
Το σκληρό φωτοαντιδραστικό υλικό αφαιρείται με ειδικό διαλυτή



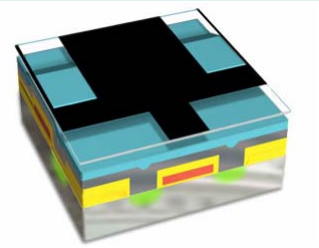
Γίνεται επιμετάλλωση του δίσκου που γεμίζει τις οπές και καλύπτει όλη την επιφάνεια.

24

Κατασκευή MOSFET τύπου NMOS



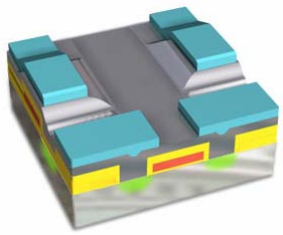
Τοποθετείται το τέταρτο στρώμα φωτοαντιδραστικού υλικού, για να αφαιρεθεί επιλεκτικά από περιοχές το μέταλλο



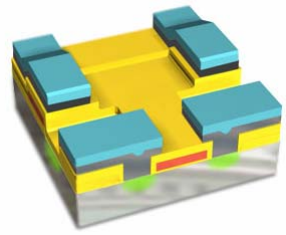
Η τέταρτη μάσκα τοποθετείται από πάνω και εκτίθεται σε υπεριώδεις ακτίνες. Περιοχές που δεν εκτέθηκαν μένουν μαλακές ενώ οι άλλες σκληραίνουν

25

Κατασκευή MOSFET τύπου NMOS



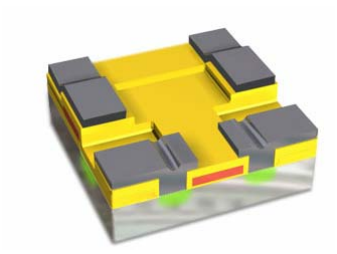
Οι μαλακές περιοχές φωτοαντιδραστικού υλικού αφαιρούνται όταν πλένονται με διαλυτή

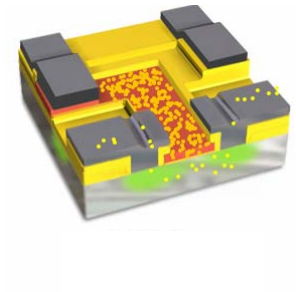


Διαβρώνεται το εκτεθειμένο μέταλλο με εδικό διαλυτή (pH ≈1) που δεν επηρεάζει τα υπόλοιπα υλικά

26

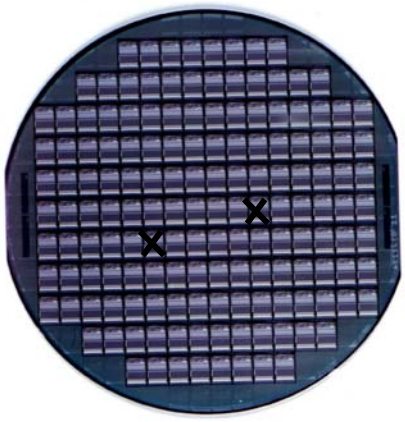
Κατασκευή MOSFET τύπου NMOS

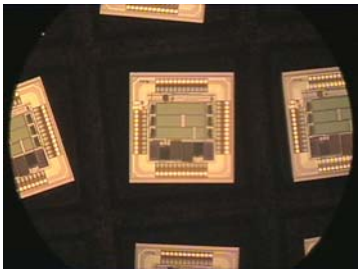




27

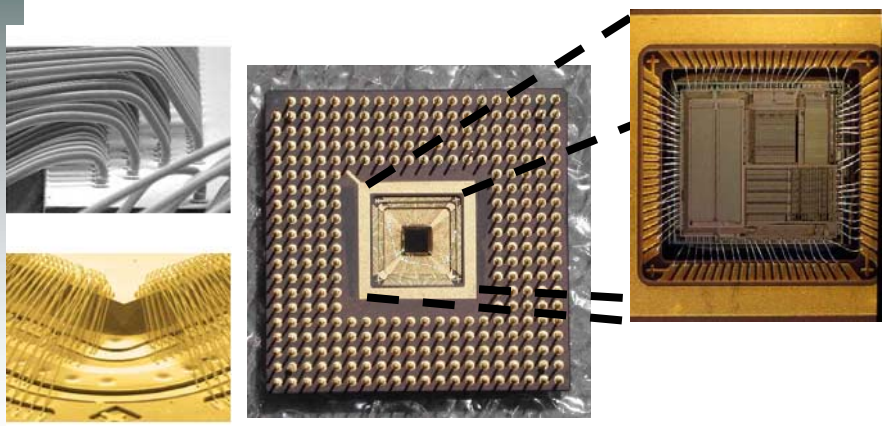
Τεμαχισμός δίσκου
Wafer Dicing





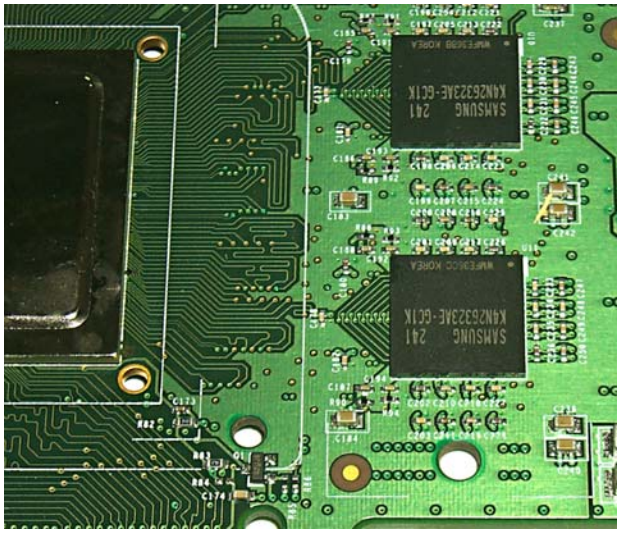
28

Συσκευασία Των Τεμαχίων
Chip packaging



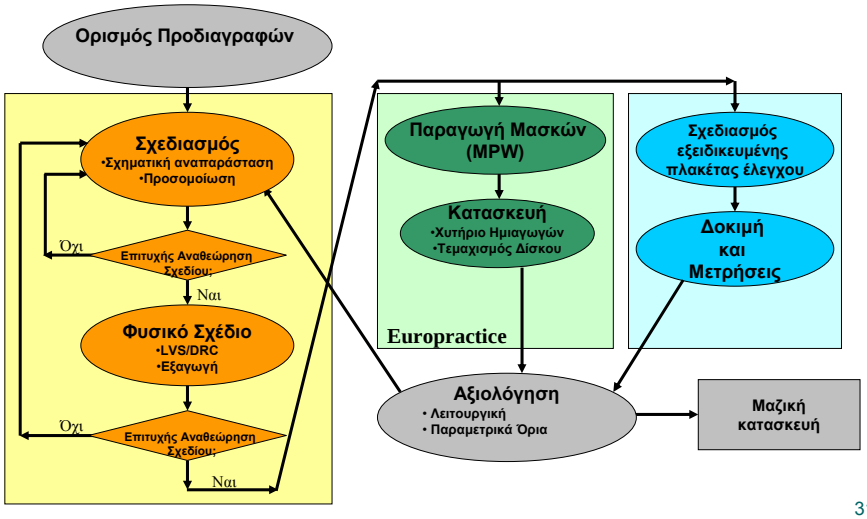
29

Συσκευασία Των Τεμαχίων
Chip packaging



30

Ποία είναι η Διαδικασία Σχεδιασμού Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων;



31