



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Σχεδίαση Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων

Εισαγωγή

Αγγελική Αραπογιάννη
Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Σχεδίαση Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων

Μέρος Α:

Τεχνολογία Κατασκευής
Ολοκληρωμένων
Κυκλωμάτων

Μέρος Β:

Στοιχεία Ηλεκτρονικής
Σχεδίασης VLSI
Κυκλωμάτων



Ορισμοί

Ηλεκτρονική: Το τμήμα της επιστήμης και της βιομηχανίας, που ασχολείται με τη μελέτη και την επεξεργασία των ηλεκτρονικών συσκευών και των αρχών λειτουργίας τους.

Μικροηλεκτρονική: Ο κλάδος της ηλεκτρονικής που ασχολείται με τη μελέτη και την επεξεργασία ενός ποιοτικά νέου τύπου ηλεκτρονικών συσκευών, των ολοκληρωμένων μικροκυκλωμάτων και των αρχών της χρήσης τους.

Ολοκληρωμένα Κυκλώματα : Το σύνολο πολλών συνιστωσών (τρανζίστορ, δίοδων, πυκνωτών, αντιστάσεων κλπ.) συνδεδεμένων μεταξύ τους, πραγματοποιημένων κατά τη διάρκεια ενός ενιαίου τεχνολογικού κύκλου (δηλ. ταυτόχρονα) πάνω στο ίδιο υπόστρωμα και οι οποίες (συνιστώσες) εκτελούν μια καθορισμένη λειτουργία μετασχηματισμού της πληροφορίας.

Ολοκληρωμένα Στοιχεία \neq Διακριτές Συνιστώσες



Ιστορική Αναδρομή

- Τρίοδος λυχνία (τέτροδος , πέντοδος)
- Διπολικό τρανζίστορ επαφής (1948)(Shockley, Bardeen, Brattain-Bell)
- FET (Lilienfeld 1926), MOSFET (Kang, Atalla, 1959)
- Ανακάλυψη επιπεδικής δομής διπολικού τρανζίστορ (Hoerni, Fairc1958)
- Κατασκευή πρώτου εμπορικού ολοκληρωμένου κυκλώματος (Texas Instr. 1960)
- Ψηφιακά λογικά κυκλώματα
- Κυκλώματα της οικογένειας TLL (transistor-transistor logic)
- Τελεστικός Ενισχυτής
- Ολοκληρωμένα κυκλώματα MOS - Διακριτά MOSFET – Διπολικά ολοκληρωμένα κυκλώματα.

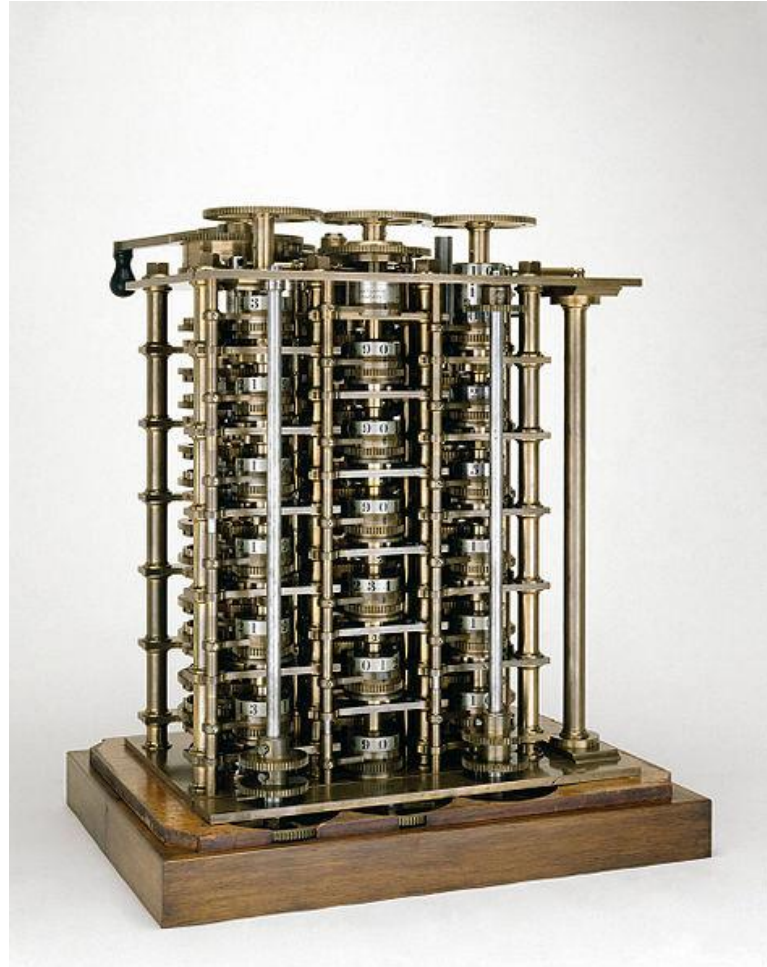


Ο πρώτος Υπολογιστής

The Babbage Difference Engine (1832)

25.000 parts

Cost: £ 17,470

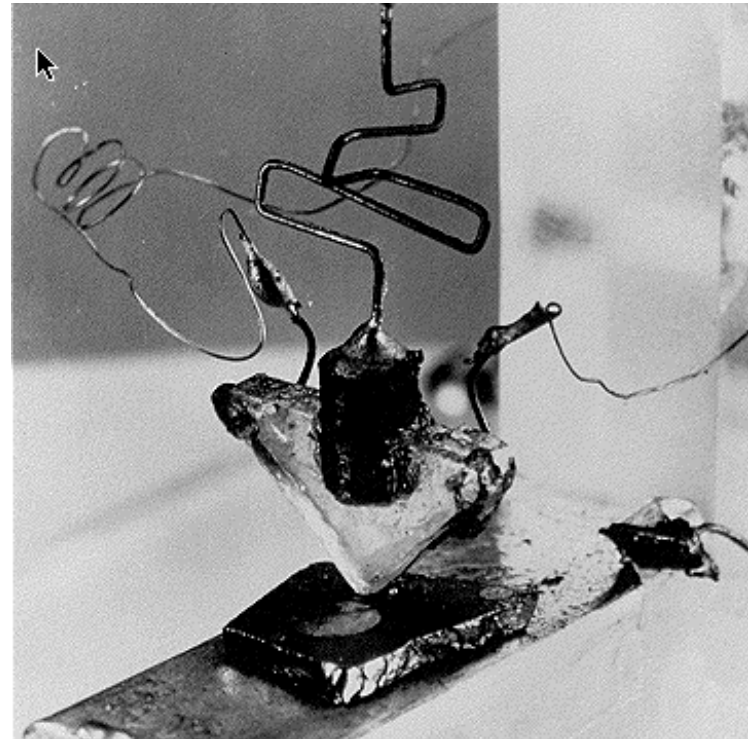


ENIAC – Ο πρώτος Ηλεκτρονικός Υπολογιστής (1946)



Το πρώτο τρανζίστορ

Bell Labs, 1948



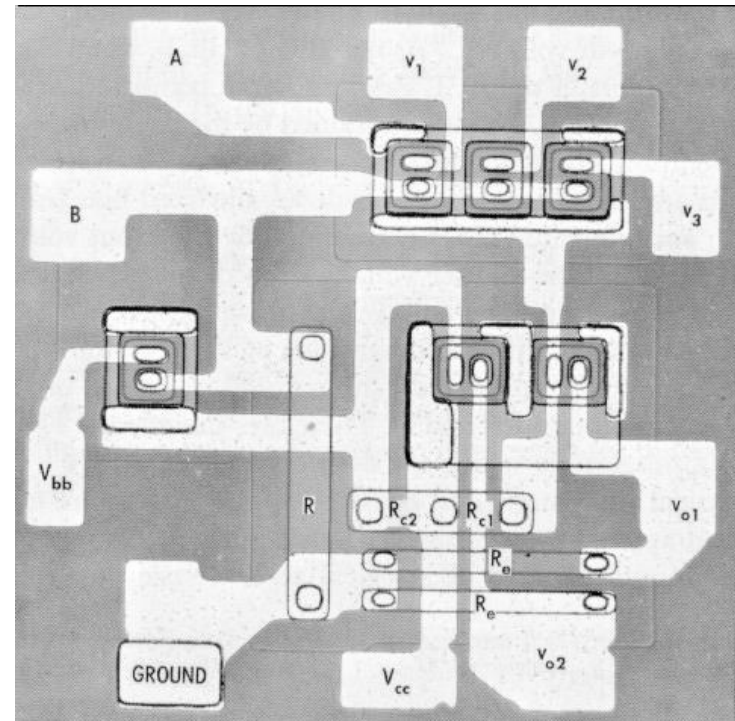
Το πρώτο Ολοκληρωμένο Κύκλωμα

Bipolar logic

1960's

ECL 3-input Gate

Motorola 1966

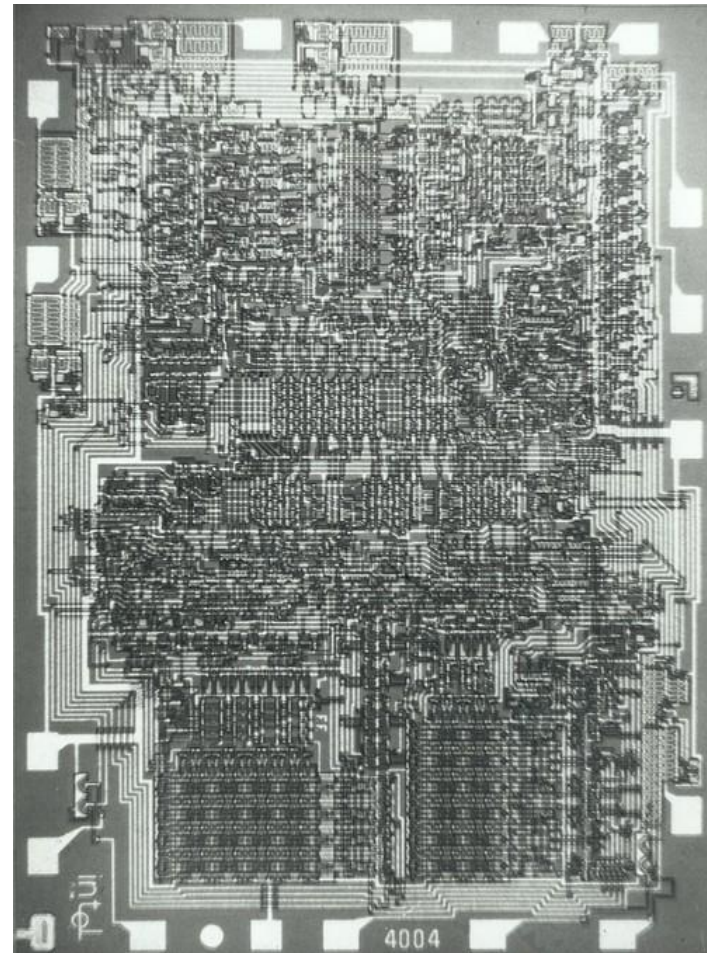


Intel 4004 Micro-Processor

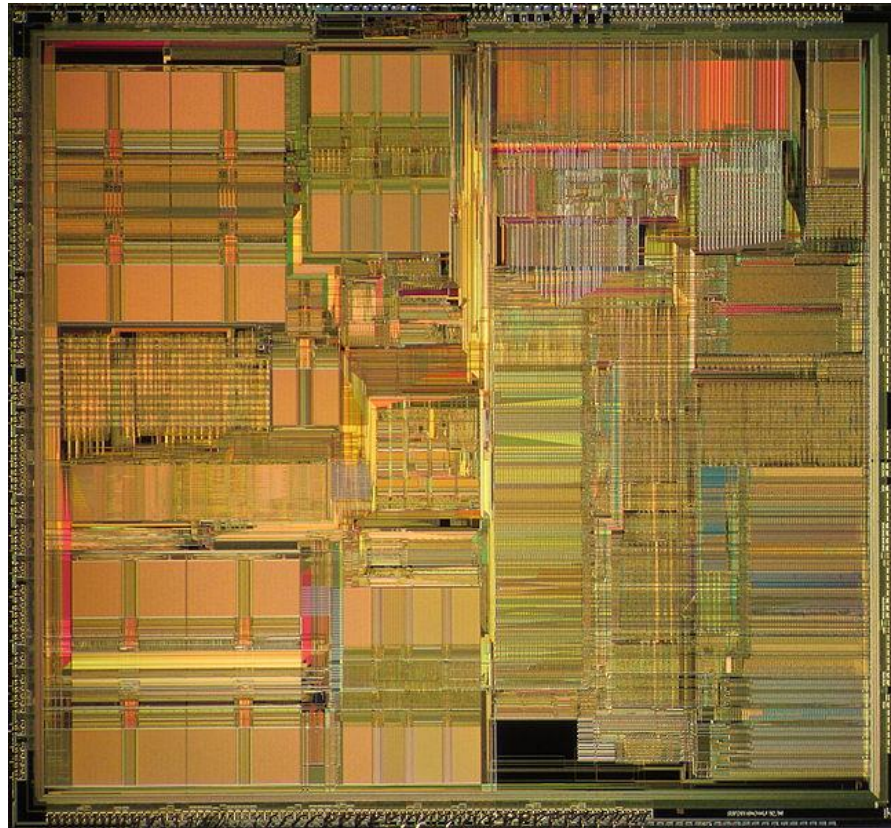
1971

1000 transistors

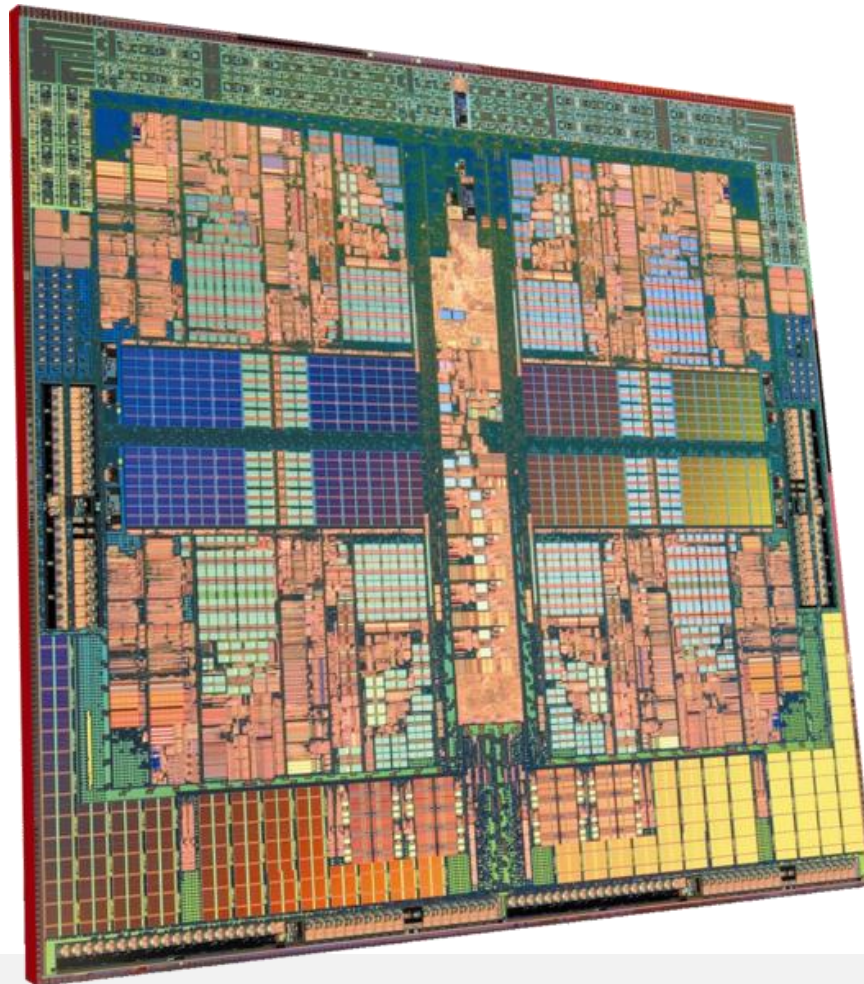
1 MHz operation



Intel Pentium (IV) microprocessor



Intel® Multi-Core Processor



Κατάταξη των Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων

- Ως προς τη λειτουργική πολυπλοκότητα:

Βαθμός Ολοκλήρωσης: Αριθμός των στοιχείων (συνήθως τρανζίστορ) που περιέχονται μέσα σε ένα τσιπ. Συχνά χρησιμοποιούμε τον συμβατικό τελεστή $k = \log N$, όπου N ο βαθμός ολοκλήρωσης.

$k < 1 \rightarrow$ SSI

$1 < k < 2 \rightarrow$ MSI

$2 < k < 3 \rightarrow$ LSI

$3 < k \rightarrow$ VLSI

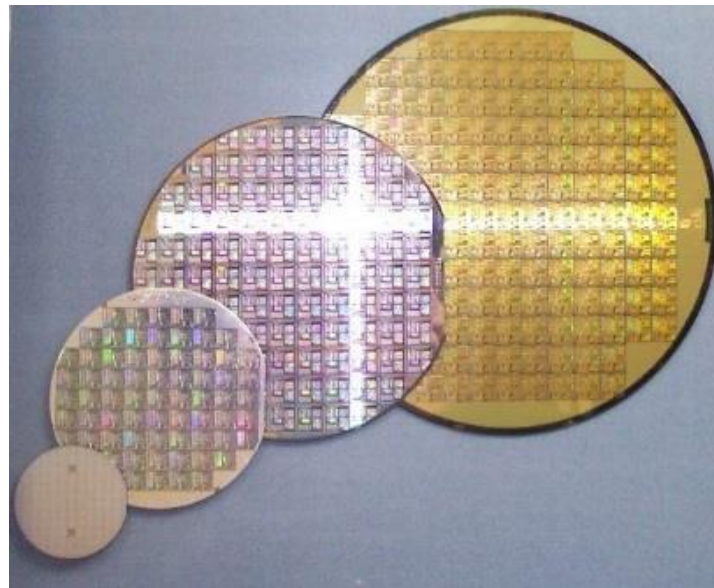
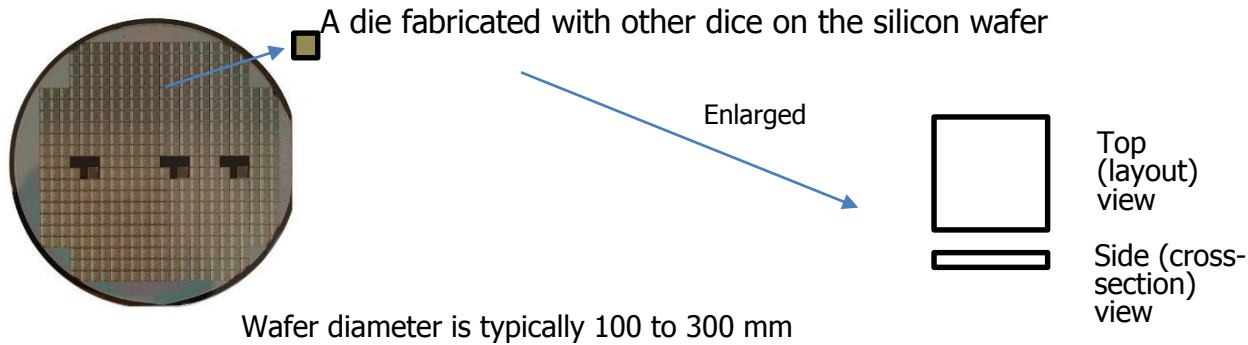
Σήμερα: VLSI $\rightarrow k > 5-8$

- Ως προς τη στάθμη της τεχνολογίας:

Πυκνότητα Στοιχείων: Ο αριθμός των στοιχείων (συνήθως τρανζίστορς) ανά μονάδα επιφάνειας του τσιπ. Αυτό το μέγεθος, φτάνει σήμερα τα 500 έως 1000 στοιχεία ανά τετραγωνικό χιλιοστό.

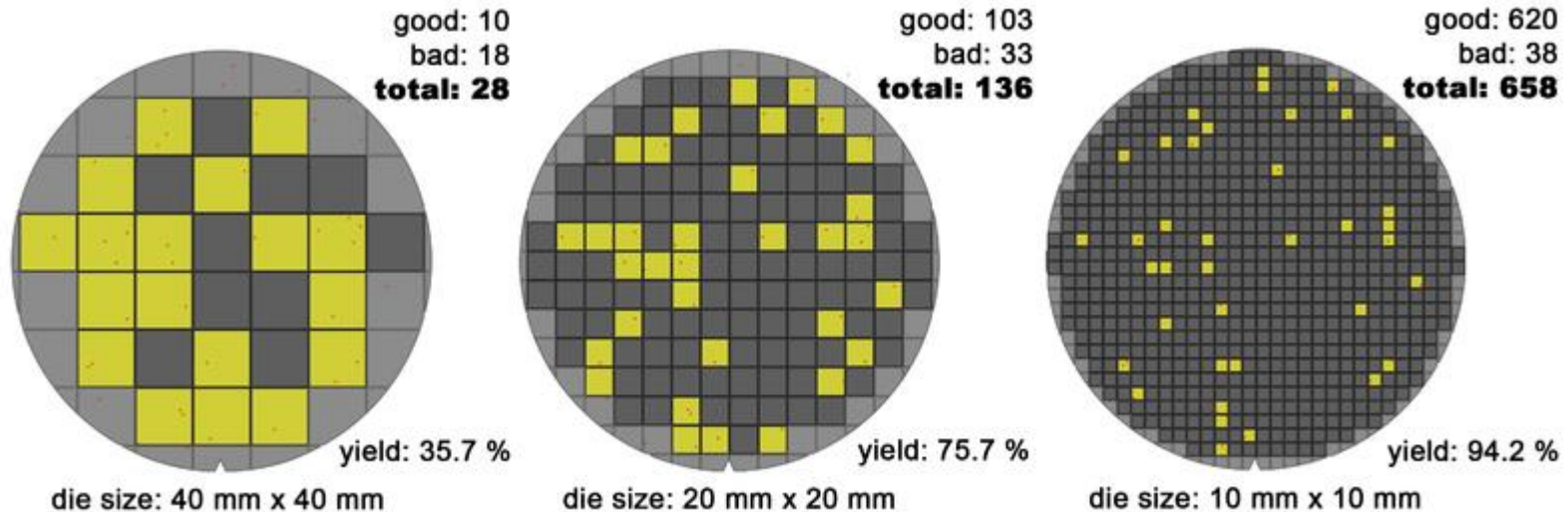


Υπόστρωμα και ψηφίδα



CMOS integrated circuits are fabricated on and in silicon wafer. Shown are 51,100,150 and 200 mm diameter wafers.

Διαστάσεις και απόδοση παραγωγής (yield)



Effect of die size on yield



Παράγοντες Αξιοποίησης Κυκλωμάτων

- Όγκος
- Μάζα
- Κόστος
- Κατανάλωση
- Αξιοπιστία



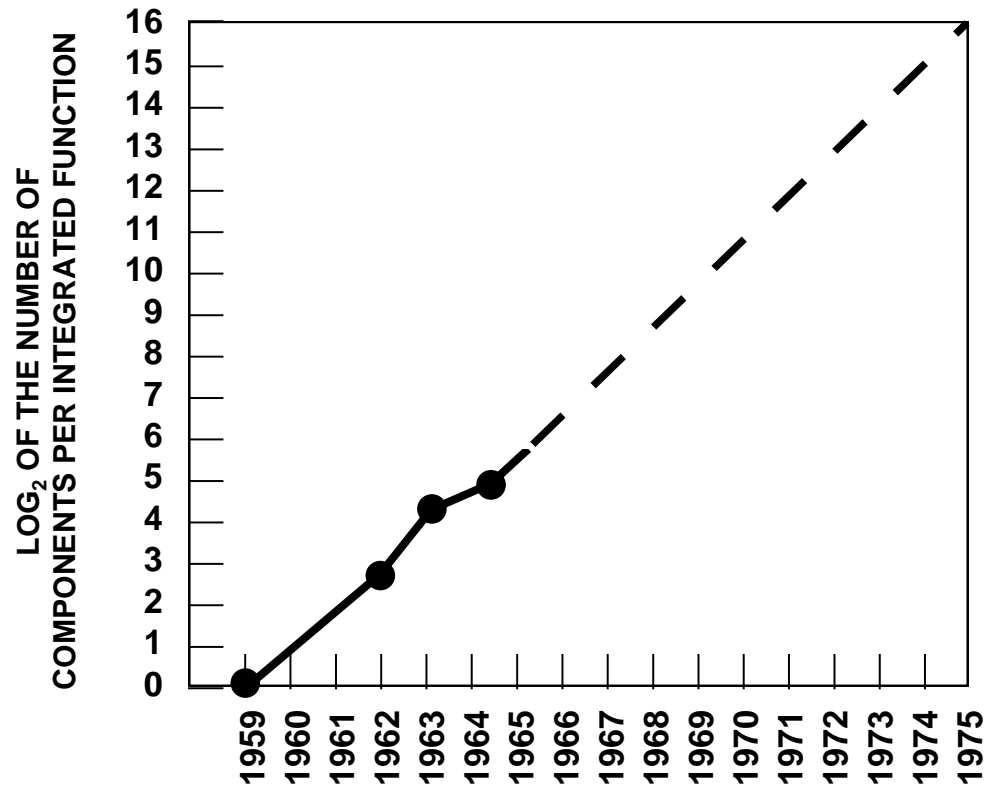
Ο νόμος του Moore

- Το 1965, ο Gordon Moore παρατήρησε ότι ο αριθμός των τρανζίστορ στα ολοκληρωμένα κυκλώματα διπλασιαζόταν κάθε 18 με 24 μήνες.
- Έκανε την πρόβλεψη ότι η τεχνολογία των ημιαγωγών θα διπλασιάζει τις επιδόσεις της κάθε 18 μήνες.

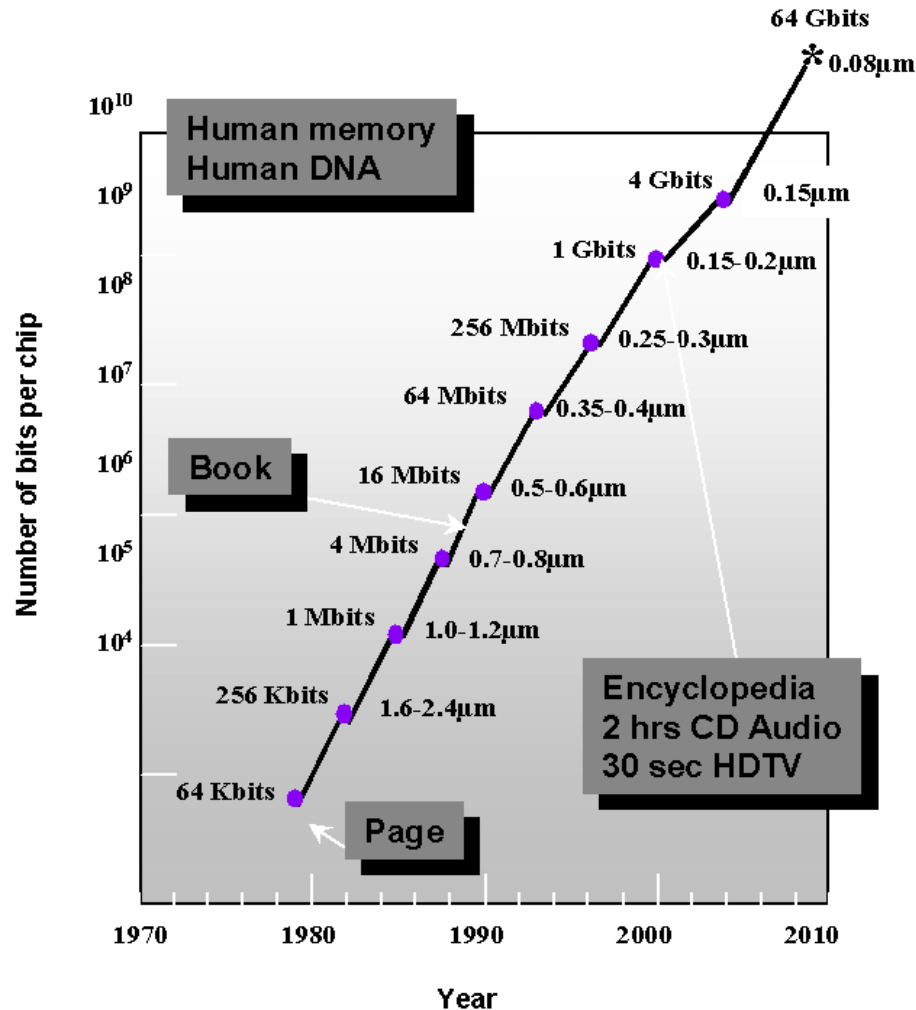


Moore's Law

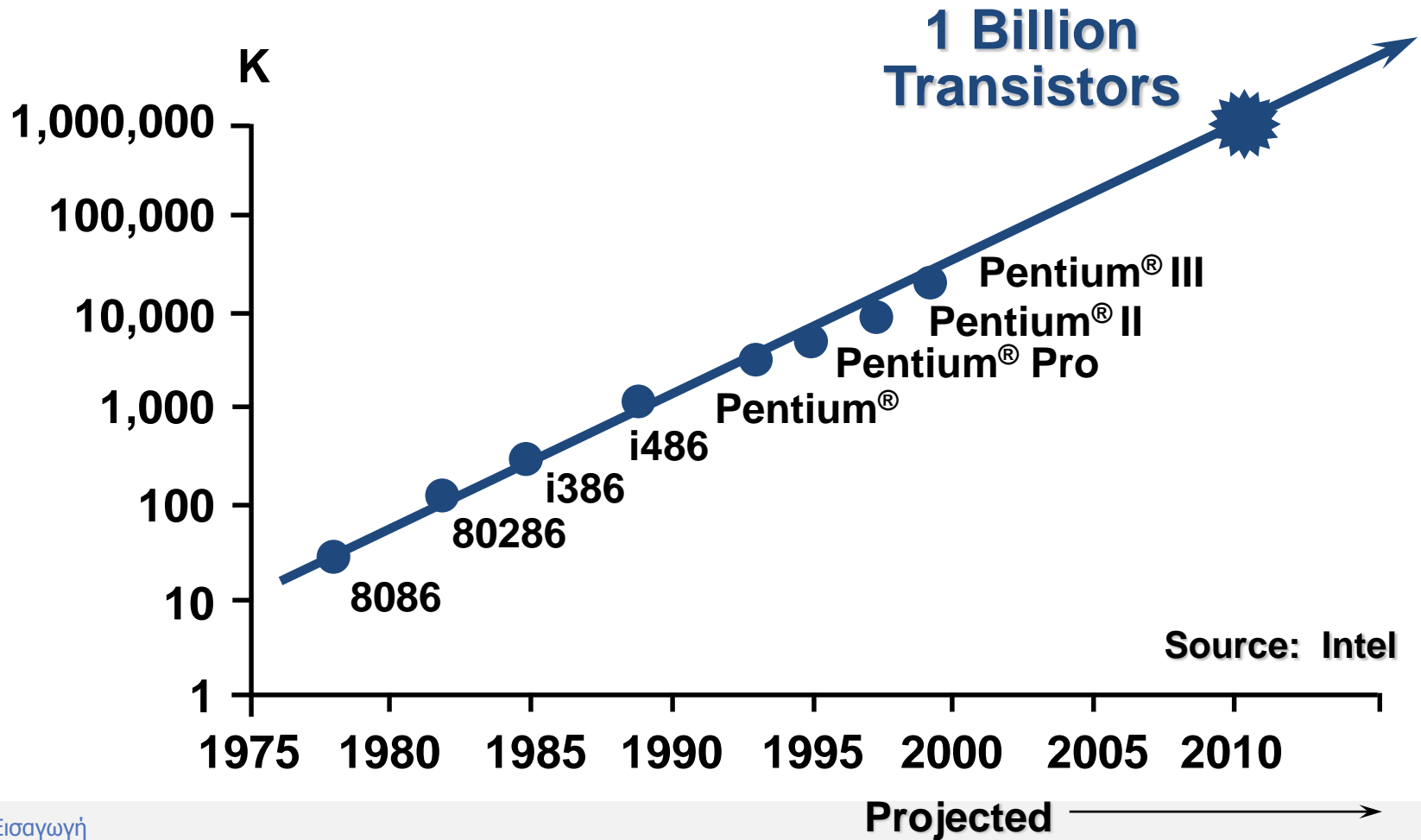
Electronics, April 19, 1965.



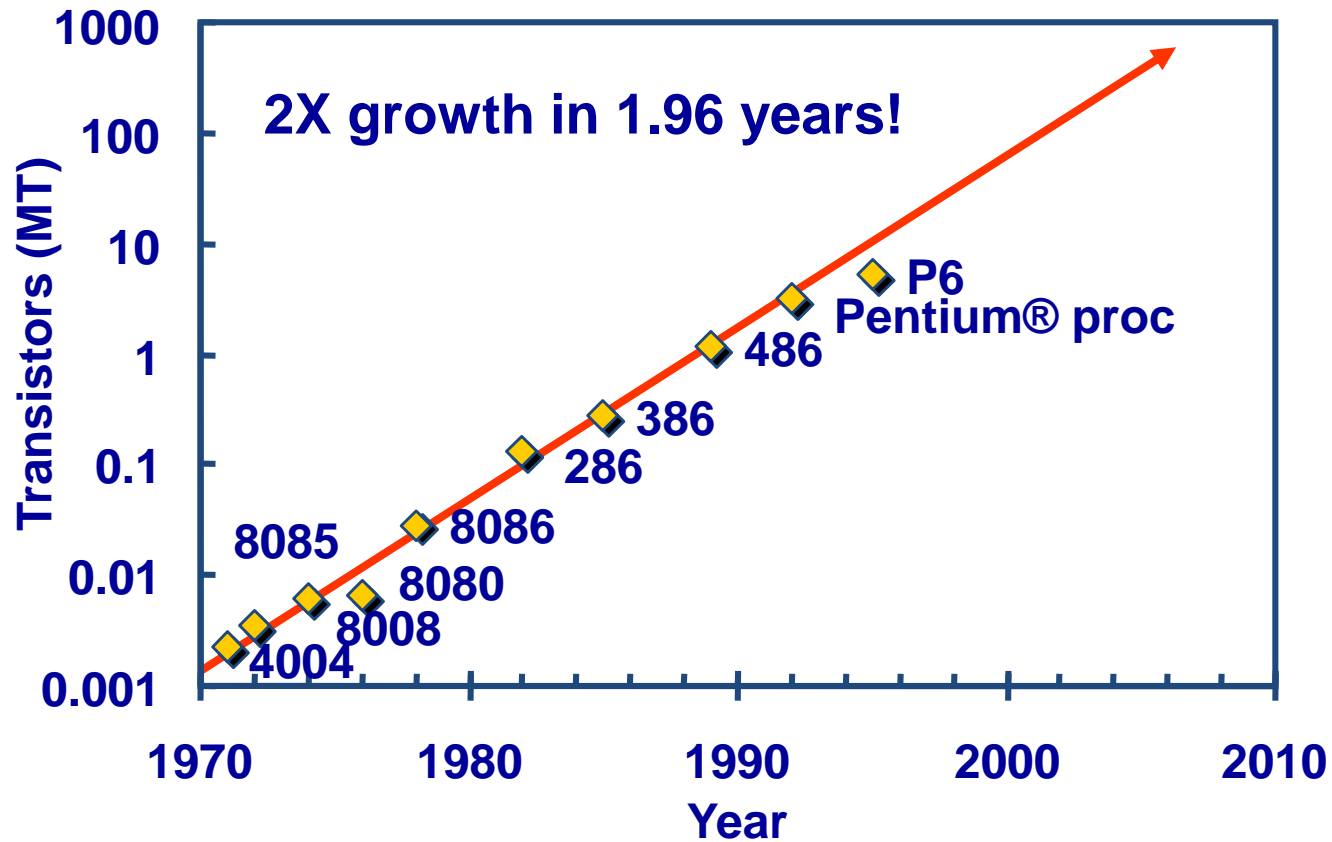
Εξέλιξη της πολυπλοκότητας



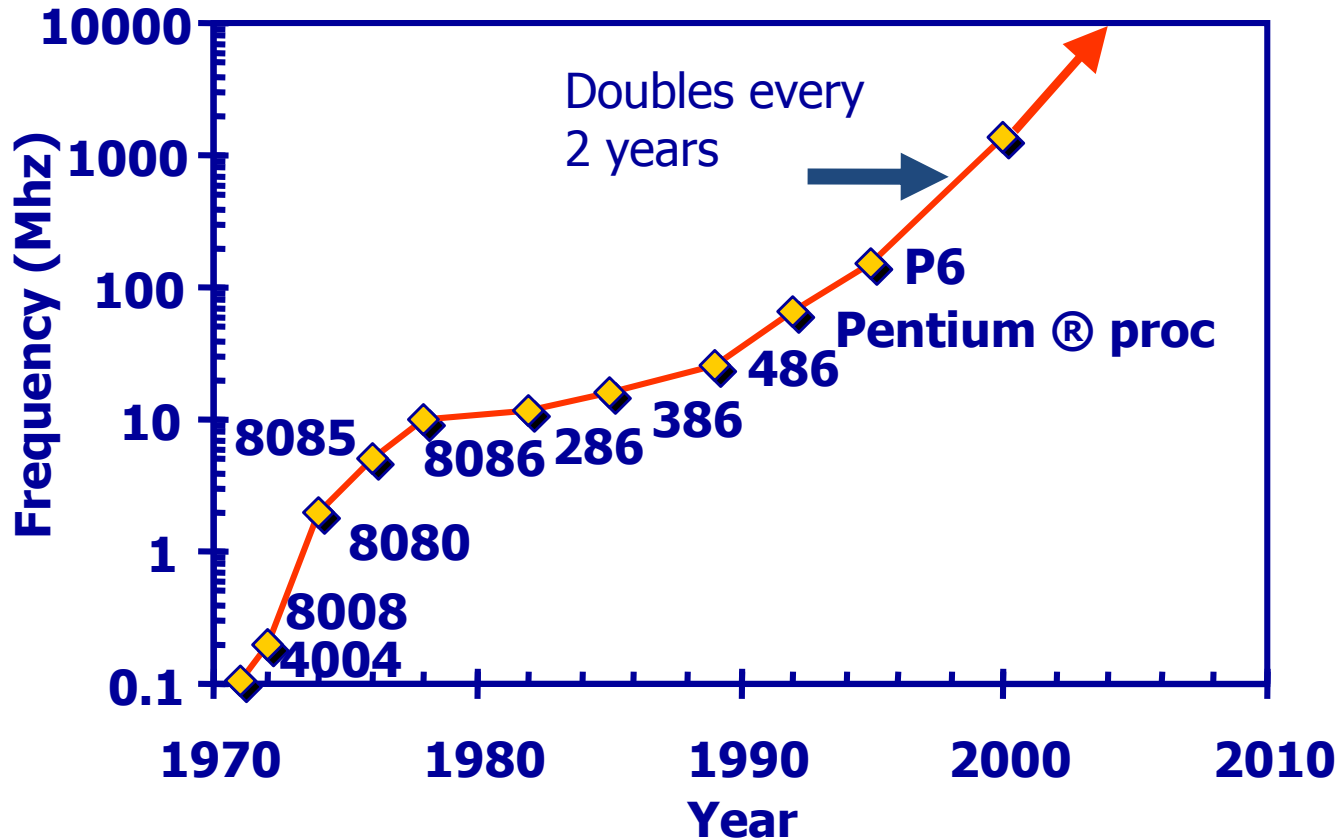
Αριθμός Τρανζίστορ



Ο Νόμος του Moore στους Μικροεπεξεργαστές



Frequency



Lead Microprocessors frequency doubles every 2 years



Επιλογή του Βαθμού Ολοκλήρωσης

- Η επιλογή κατάλληλου βαθμού ολοκλήρωσης εξαρτάται από τις οικονομικές ιδιομορφίες της κάθε εφαρμογής.
- LSI: χρήση σε μήτρες μνημών , υπολογιστές τσέπης , ψηφιακά ρολόγια.
- VLSI: χρήση για την κατασκευή RAM και μητρών εικόνας για τηλεόραση.



Σημερινή εικόνα της Μικροηλεκτρονικής

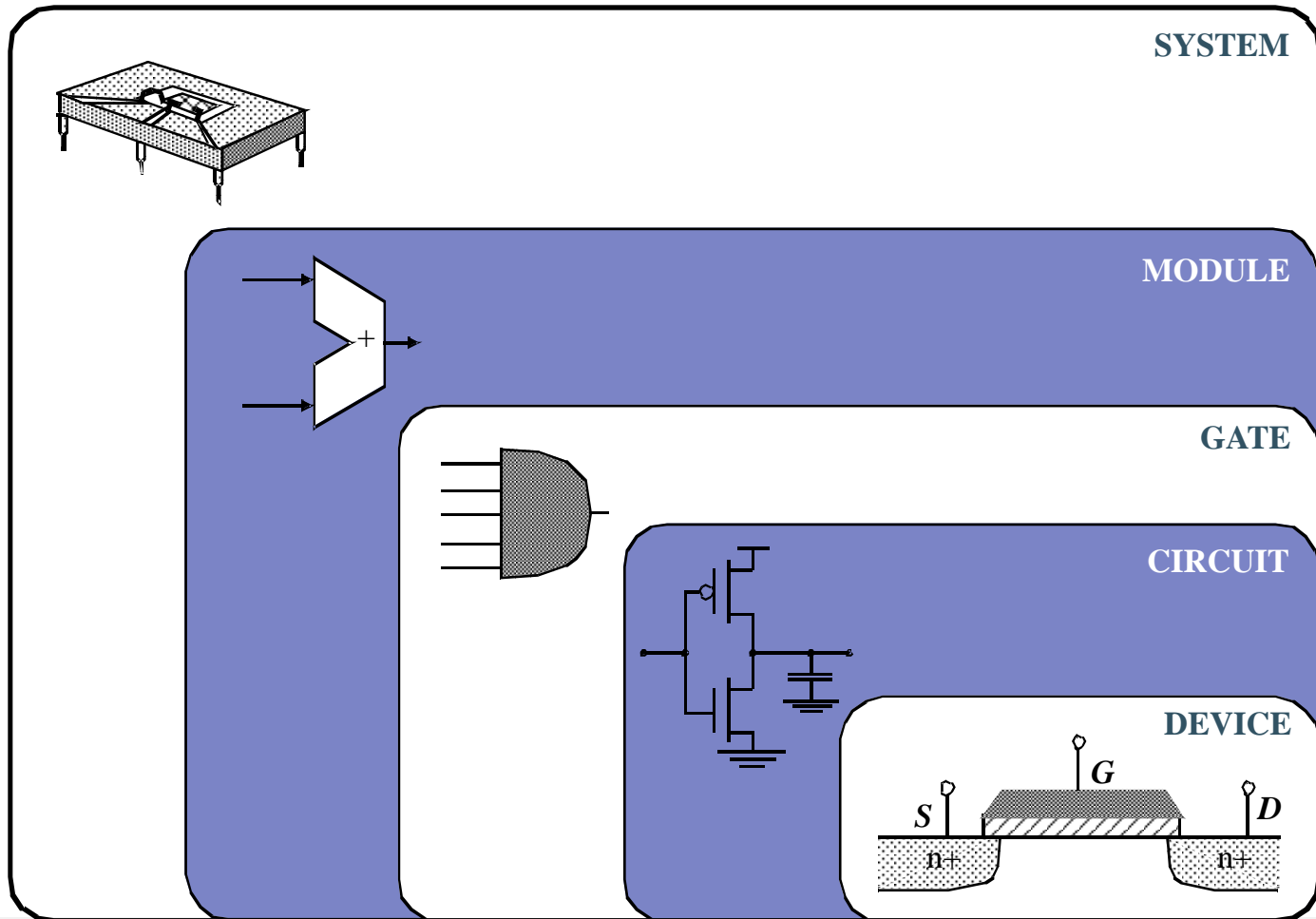
- Ανάπτυξη υπομικρονικής φωτολιθογραφίας
 - Νέα σχέδια κυκλωμάτων
- Αύξηση πυκνότητας στοιχείων
και
Αύξηση πολυπλοκότητας των κυκλωμάτων

με αποτέλεσμα:

- Ένα VLSI κύκλωμα κατέχει σήμερα όση επιφάνεια κατείχε παλιότερα ένα LSI.



Επίπεδα Σχεδίασης



Σημερινή εικόνα της Μικροηλεκτρονικής

- Αντιμετώπιση προβλημάτων πολυπλοκότητας και ιδιομορφίας μέσω της τεχνικής O.K. custom & semicustom.
- Ανάπτυξη τεχνολογίας υβριδικών κυκλωμάτων με σημαντικές εφαρμογές, όπως αυτή των υβριδικών κυκλωμάτων παχέων υμενίων για την κατασκευή των διασυνδέσεων μεταξύ τσιπ LSI και VLSI μέσα σε πολύπλοκα ηλεκτρονικά συστήματα.



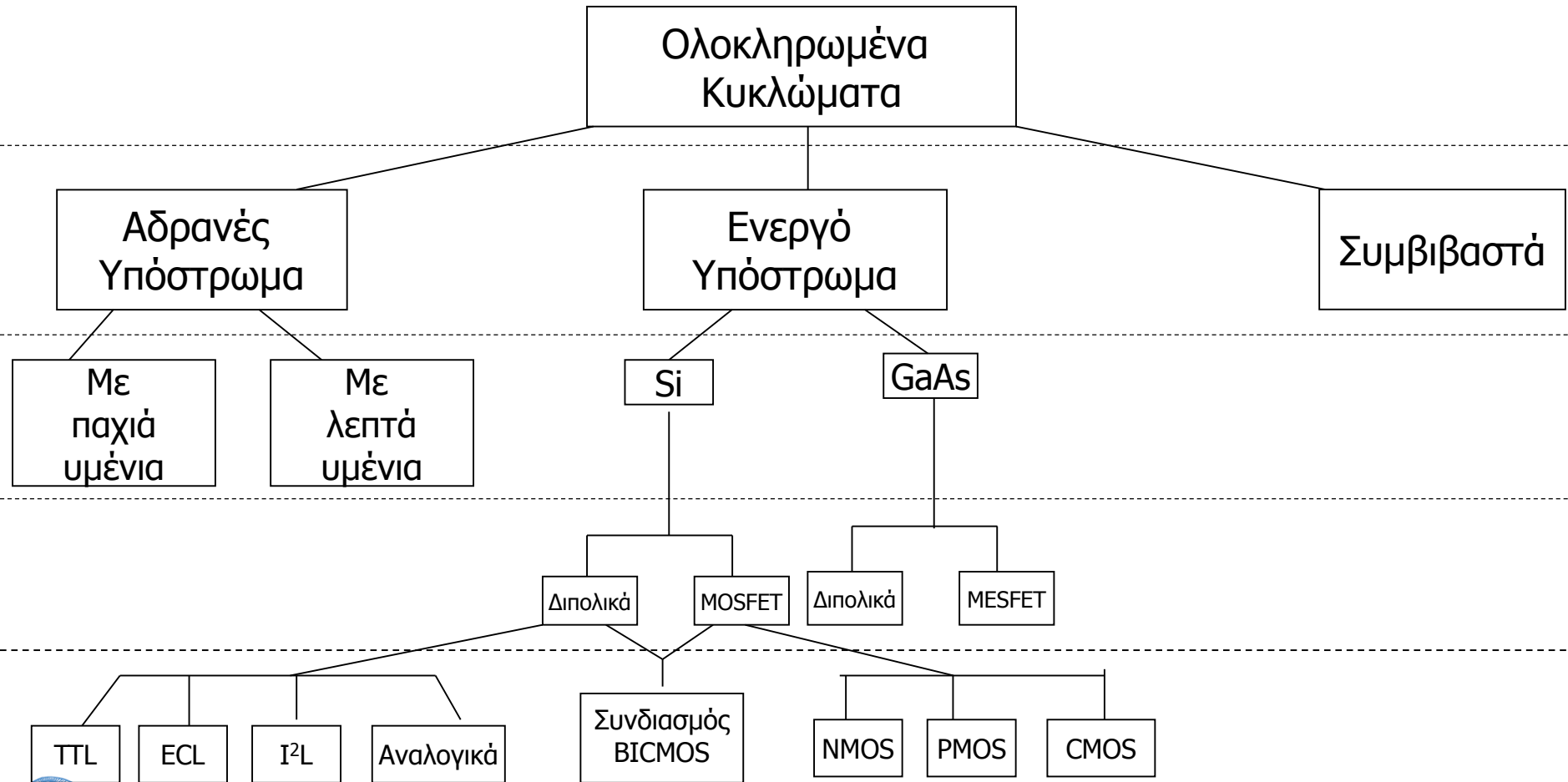
Σημερινή εικόνα της Μικροηλεκτρονικής

Σημαντική επίδραση της μικροηλεκτρονικής :

- Μείωση όγκου και βάρους εξαιτίας της συρρίκνωσης των διατάξεων που χρειάζονται για να εκτελεστούν οι ηλεκτρονικές λειτουργίες
- Μείωση της κατανάλωσης ισχύος
και
- Αύξηση της αξιοπιστίας



Κατάταξη των Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων



Αντίσταση Φύλλου

Υπολογισμός της αντίστασης μιας δομής με διαστάσεις μήκος : l , πλάτος : w , πάχος : t

$R = \rho * l / (w * t)$, όπου ρ η ειδική αντίσταση του υλικού (σε $\Omega \cdot \text{cm}$).

Με $R_s = \rho / t$ συμβολίζουμε την αντίσταση φύλλου (σε Ω / cm).

Έτσι η αντίσταση της δομής μπορεί να γραφεί ως : $R = R_s * l / w$

Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων (1 από 2)

- Τα παρακάτω χαρακτηριστικά διαφοροποιούν τα Ο.Κ. από τις υπόλοιπες ηλεκτρονικές διατάξεις
- Πραγματοποιεί με ανεξάρτητο τρόπο μόνο του μια καθορισμένη λειτουργία, χωρίς να είναι αναγκαία η συνεργασία με άλλες συνιστώσες.
- Η αύξηση της λειτουργικής πολυπλοκότητάς τους δεν ακολουθείται από υποβάθμιση μιας οποιασδήποτε από τις κύριες παραμέτρους (πιστότητα, κόστος κ.τλ.)



Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων (2 από 2)

- Υπάρχει προτίμηση στα ενεργά σε σχέση με τα παθητικά στοιχεία. Αυτό συμβαίνει γιατί αυτό που μετράει στα Ο.Κ. είναι το κόστος του τελειωμένου τσιπ και όχι του κάθε στοιχείου. Έτσι ενδιαφερόμαστε να τοποθετήσουμε στο ίδιο τσιπ όσο το δυνατό περισσότερα στοιχεία ελάχιστης επιφάνειας. Όμως, τα ενεργά στοιχεία χαρακτηρίζονται από την ελάχιστη επιφάνεια και όχι τα παθητικά.
- Τα γειτονικά στοιχεία δεν απέχουν μεταξύ τους πάνω 50 με 100μm με αποτέλεσμα οι παράμετροι των γειτονικών στοιχείων να είναι συσχετισμένες.



Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των Υβριδικών Κυκλωμάτων

- Υψηλές τιμές αντιστάσεων και των πυκνωτών
- Μεγάλη ακρίβεια των αντιστάσεων
- Δυνατότητα διόρθωσης των ονομαστικών τιμών των αντιστάσεων πριν από το τέλος του τεχνολογικού ελέγχου, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται σημαντικά η διασπορά των τιμών των αντιστάσεων.
- Γενικά πρόκειται για πιο ευέλικτο τύπο Ο.Κ. σε χαμηλή τιμή, εύκολο να σχεδιαστεί και καλά προσαρμοσμένο στη λύση εξειδικευμένων προβλημάτων.



Τέλος Ενότητας



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την 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.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Αραπογιάννη Αγγελική 2014. «Σχεδίαση Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων. Εισαγωγή.».
Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<http://opencourses.uoa.gr/courses/DI31/>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 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».



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

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

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



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.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1 από 3)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

- Εικόνα 1: By Science Museum London / Science and Society Picture Library **CC BY-SA 2.0** [(<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0>)], via Wikimedia Commons
<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/85/Babbages_Difference_Engine_No_1%2C_1824-1832._%289660573845%29.jpg>
- Εικόνα 2: By Unidentified U.S. Army photographer (Image from [2]) [**Public domain**], via Wikimedia Commons<https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/16/Classic_shot_of_the_ENIAC.jpg>
- Εικόνα 3: By Anasialmalla (Own work) [**CC BY-SA 3.0** (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0>)], via Wikimedia Commons
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/64/First_transistor.gif



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2 από 3)

- Εικόνα 5: Retrieved from slideshow: **Trends and Challenges in VLSI Technology Scaling** by G. Baccarani, University of Bologna (slide 10) at: <http://www.slideshare.net/nanonsrc/baccarani-060629>
- Εικόνα 6: Του/της Pauli Rautakorpi (Έργο αυτού που το ανεβάζει) [**CC BY 3.0** (<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0>)], μέσω των Wikimedia Commons
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/06/Intel_Pentium_OverDrive_die.JPG
- Εικόνα 7: Advanced Micro Devices, Inc. (AMD) [Attribution], via Wikimedia Commons
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e3/AMD_Phenom_die.png
- Εικόνα 8: By Inductiveload (Own work) [**Public domain**], via Wikimedia Commons From:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e2/Silicon_wafer.jpg



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3 από 3)

- Εικόνα 9: See page for author [**GFDL** (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>) or **CC-BY-SA-3.0** (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)], via Wikimedia Commons. From:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d7/Wafer_2_Zoll_bis_8_Zoll_2.jpg
- Εικόνα 10: By Wafer_die's_yield_model_(10-20-40mm).PNG: Shigeru23 derivative work: Cepheiden (Wafer_die's_yield_model_(10-20-40mm).PNG) [**CC BY-SA 3.0** (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>) or GFDL (<http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>)], via Wikimedia Commons. From:
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/03/Wafer_die%27s_yield_model_%2810-20-40mm%29_-_Version_2_-_EN.png
- Εικόνα 11: Retrieved from slideshow: **Low power vlsi design ppt** by Dr R.Nakkeeran (slide 6) at:
<https://image.slidesharecdn.com/lowpowervlsidesignbook-140426055029-phpapp02/95/low-power-vlsi-design-ppt-6-638.jpg?cb=1398509474>

