

## Εισαγωγή στους Υπολογιστές (αρχές λειτουργίας και τεχνολογία)

<http://mixstef.github.io/courses/csintro/>



Μ.Στεφανιδάκης

## Σχετικά με το μάθημα

### • Εισαγωγή

### • Ενότητες μαθήματος

- Αρχές λειτουργίας υπολογιστών
  - Υλικό (hardware) – Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Αλγόριθμοι – Χειρισμός δεδομένων
  - Δομές δεδομένων – Λογισμικό (software)

### • Βιβλία για το μάθημα

- Behrouz A. Forouzan, “Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών”, ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ, 2015.
- Andrew M. Lister, “Εισαγωγή στη Σύγχρονη Επιστήμη των Υπολογιστών”, ΔΙΑΥΛΟΣ, 2000.

## Ο «Υπολογιστής»

### • Εισαγωγή

;

Τι σχέση έχει...

- το facebook
- το gaming
- ένα αυτοκίνητο με το διπλανό σχήμα;



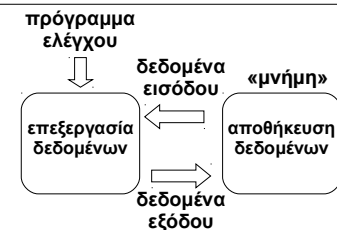
- Ο «Υπολογιστής» μετασχηματίζει δεδομένα εισόδου σε δεδομένα εξόδου, βάσει ενός προγράμματος ελέγχου

## Η «μνήμη»

### • Εισαγωγή

i

Στην πραγματικότητα το σύστημα μνήμης είναι μια ιεραρχία συστημάτων



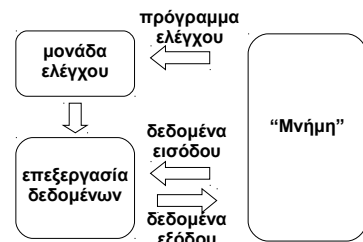
- Τα δεδομένα εισόδου και εξόδου αποθηκεύονται στη «μνήμη»
  - Μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην επόμενη φάση επεξεργασίας
  - Και το πρόγραμμα ελέγχου πού βρίσκεται αποθηκευμένο;

## Το μοντέλο “von Neumann”

### • Εισαγωγή

!

Η καινοτομία (την εποχή των πρώτων υπολογιστών): το πρόγραμμα ελέγχου είναι δεδομένα!



- «Υπολογιστής αποθηκευμένου προγράμματος»
  - Το πρόγραμμα ελέγχου (εντολές) αποθηκεύεται μαζί με τα δεδομένα στη μνήμη

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

5

## Το πρόγραμμα ελέγχου

### • Εισαγωγή

!

Η εντολή μηχανής διαφέρει από τις εντολές υψηλού επιπέδου των γλωσσών προγραμματισμού

Κάθε εντολή μιας γλώσσας προγραμματισμού μεταφράζεται (μεταγλωττίζεται) σε πολλές εντολές μηχανής!

- Είναι ένα σύνολο «οδηγιών»
  - Περιγράφει το είδος της επεξεργασίας των δεδομένων εισόδου
  - Κάθε «οδηγία» ονομάζεται εντολή μηχανής
    - εκτελεί μια μικρή, αυτοτελή λειτουργία
    - το πρόγραμμα (ελέγχου) αποτελείται από πολλές εντολές μηχανής

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

6

## Εντολή Μηχανής

### • Εισαγωγή

;

Θα μπορούσε να υλοποιηθεί ένα χρήσιμο πρόγραμμα εάν δεν υπήρχαν εντολές διακλάδωσης;

- Machine Instruction
  - Μικρή λειτουργία χειρισμού δεδομένων
    - μεταφορά δεδομένων από/προς μνήμη
    - αριθμητική πράξη μεταξύ δύο αριθμών
    - έλεγχος αν ένας αριθμός είναι μηδέν...
    - κ.ο.κ
  - Οι εντολές μηχανής εκτελούνται σειριακά
    - Η μια μετά την άλλη – από την επόμενη θέση μνήμης
  - Εξαιρέση: εντολές διακλάδωσης
    - Εάν μια συνθήκη είναι αληθής, τότε μεταφορά της εκτέλεσης σε διαφορετικό σημείο του προγράμματος (όχι από την επόμενη θέση μνήμης)
    - Αγγλική ορολογία: εντολές branch ή jump

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

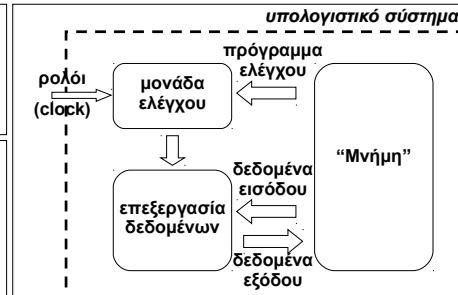
7

## Χρονισμός συστήματος

### • Εισαγωγή

!

Το σχήμα συμπληρώνεται με τις μονάδες εισόδου-εξόδου, για επικοινωνία με τον έξω κόσμο



- Χρονισμός μέσω ενός σήματος ρολογιού
  - Ο «παλμός» του υπολογιστικού συστήματος
  - Καθορίζει την έναρξη της επόμενης λειτουργίας

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

8

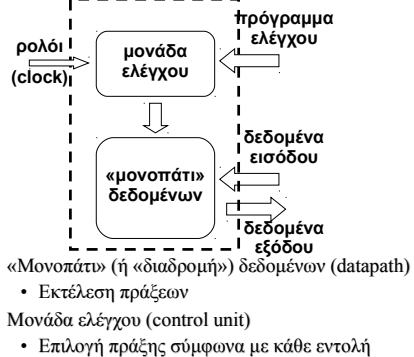
## Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)

### • Εισαγωγή

;

Τι σημαίνει όταν λέμε ότι ένας επεξεργαστής είναι 32-bit ή 64-bit; Πώς σχετίζεται με το διπλανό σχήμα;

### Central Processing Unit (CPU)



Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

9

## Τι περιέχει το μονοπάτι δεδομένων

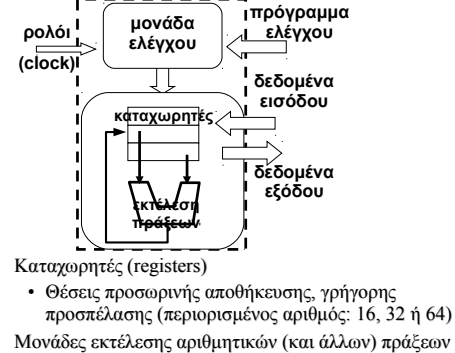
### • Εισαγωγή

i

Οι καταχωρητές παρέχουν τα δεδομένα εισόδου κατά την εκτέλεση των πράξεων.

Στους καταχωρητές αποθηκεύονται επίσης τα αποτελέσματα των πράξεων.

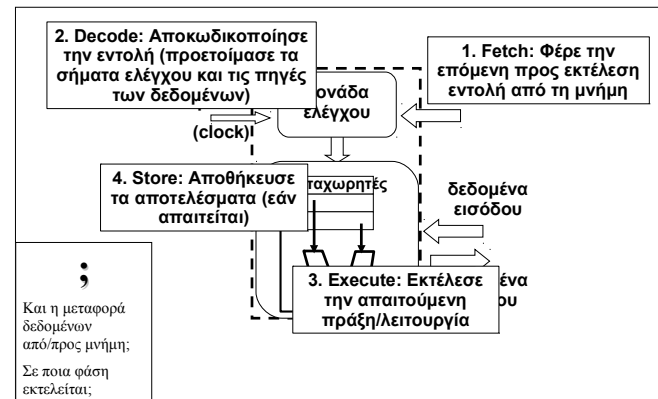
### Central Processing Unit (CPU)



Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

10

## Εκτέλεση εντολών: ο κύκλος μηχανής



Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

11

## Σε ποια μορφή αποθηκεύονται τα δεδομένα;

### • Εισαγωγή

- Στη μνήμη και στους καταχωρητές
- Στις μονάδες εκτέλεσης πράξεων
- Απάντηση: σε δυαδική μορφή!
  - Ακολουθίες από 0 και 1
    - ή αλλιώς ON/OFF, Αληθές/Ψευδές κ.ο.κ.
- Ισχύει για κάθε είδους δεδομένα
  - Ακόμα και για μη αριθμητικά δεδομένα: κείμενο, εικόνα, ήχο...
  - Και οι εντολές του υπολογιστή επίσης!
- Γιατί σε δυαδική μορφή;

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

12

## Η τρέχουσα τεχνολογία των υπολογιστών

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

- Ηλεκτρονική
  - Τα στοιχεία που συγκροτούν τους υπολογιστές λειτουργούν με στάθμες τάσης ή φορά ρεύματος
  - Υλοποίηση με ημιαγωγούς
- Ψηφιακή
  - Οι επιτρεπόμενες τιμές ανήκουν σε διακριτές στάθμες
- Δυαδική
  - Δύο στάθμες, ON ή OFF, '0' ή '1'
  - Τα στοιχεία που συγκροτούν τους υπολογιστές υλοποιούν διακοπτικές λειτουργίες (ανοικτό-κλειστό)

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – "Εισαγωγή στους Υπολογιστές"

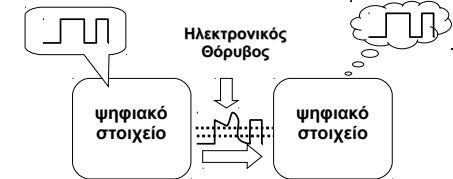
13

## Γιατί ψηφιακή τεχνολογία;

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

;

Τι θα συνέβαινε μεταξύ δύο αναλογικών τμημάτων (με συνεχές πεδίο τιμών);



- Δυνατότητα αναγέννησης του αρχικού σήματος
  - Όσο η παραμόρφωση δεν υπερβαίνει κάποια όρια
  - Όσο λιγότερες στάθμες επιτρέπονται, τόσο τα επιτρεπτά όρια διακύμανσης είναι μεγαλύτερα
    - Πλεονέκτημα της δυαδικής τεχνολογίας

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – "Εισαγωγή στους Υπολογιστές"

14

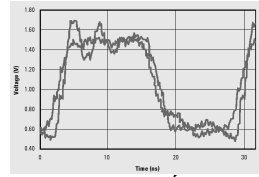
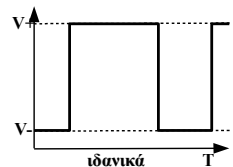
## Στάθμες ψηφιακού σήματος

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

- Δυαδική λογική
  - 2 στάθμες
    - V+ και V- (π.χ. 5V και 0V)
    - «Τροφοδοσία» και «γείωση»
    - Αναπαριστούν το λογικό 1 και 0 αντίστοιχα
  - Κυματομορφές
    - Η στάθμη τάσης σε ένα σημείο του κυκλώματος στην εξέλιξη του χρόνου

i

Στα πρώτα ολοκληρωμένα λογικά κυκλώματα η τάση τροφοδοσίας ήταν >15V ενώ σήμερα βρίσκεται γύρω στο 1V



Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – "Εισαγωγή στους Υπολογιστές"

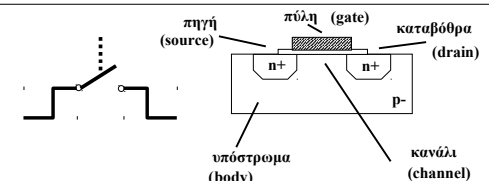
15

## Γιατί δυαδική τεχνολογία;

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

i

Το τρανζίστορ αυτό είναι τύπου NMOS. Υπάρχει και το συμπληρωματικό PMOS.



- Το τρανζίστορ MOSFET
  - Ο μικροσκοπικός διακόπτης των σύγχρονων κυκλωμάτων
  - Η θεωρία λειτουργίας του είναι γνωστή από το 1925
  - ...αλλά τα πρώτα λειτουργικά κυκλώματα κατασκευάστηκαν τη δεκαετία του 60

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – "Εισαγωγή στους Υπολογιστές"

16

## Ημιαγωγοί – σε δύο διαφάνειες!

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

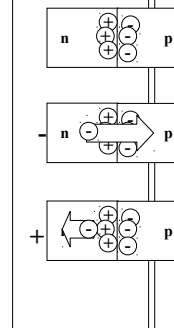
- Ημιαγωγοί
  - Στοιχεία με κρυσταλλική δομή (πυρίτιο, γερμάνιο...)
  - Μεταξύ αγωγών και μονωτών
  - Σε θερμοκρασία δωματίου και καθαρή μορφή: όχι καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού
  - Προσμίξεις με “ακάθαρτα” υλικά (impurities)
    - “Doping”
    - Προσθήκη ελεύθερων ηλεκτρονίων (donors)
      - n-type
    - Προσθήκη “οπών” (acceptors)
      - απουσία ηλεκτρονίων
      - p-type
  - Τα χαρακτηριστικά αγωγιμότητας αλλάζουν!

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

17

## Ημιαγωγοί – σε δύο διαφάνειες!

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία



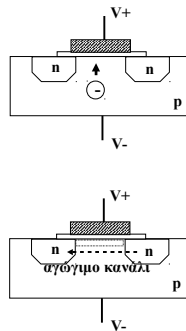
- Το ενδιαφέρον σημείο (επαφής)
  - Όταν ενώνονται ημιαγωγοί n-type και p-type
    - Στο σημείο επαφής: κατάσταση ισορροπίας – μετά από την αρχική μετακίνηση ηλεκτρονίων στο p-type, περαιτέρω ηλεκτρόνια απωθούνται
    - Με ορθή πόλωση, και άλλα ηλεκτρόνια μπορούν να υπερπηδήσουν το εμπόδιο και να φτάσουν στο p-type, οπότε παρατηρείται ροή ρεύματος
    - Με ανάστροφη πόλωση, νέα ηλεκτρόνια δεν έχουν την ευκαιρία να φτάσουν στο p-type, οπότε δεν ρέει ρεύμα μέσω της επαφής
      - την ανάστροφη πόλωση εκμεταλλεύονται τα ηλεκτρονικά ψηφιακά κυκλώματα των υπολογιστών

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

18

## Λειτουργία του τρανζίστορ MOS(FET)

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία



**i**  
Το τρανζίστορ σήμερα είναι διαφορετικό (με πτερύγια – fins) για να λειτουργεί σωστά σε πολύ μικρές διαστάσεις!

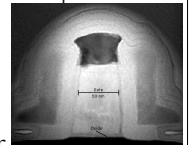
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

19

## Η συρρίκνωση του τρανζίστορ

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

- Ένας σύγχρονος επεξεργαστής μπορεί να περιέχει πάνω από 1 δις τρανζίστορ σε μία επιφάνεια 280mm<sup>2</sup>
- Πλεονεκτήματα
  - Ταχύτερη λειτουργία
    - Πιο γρήγοροι χρόνοι ON-OFF
  - Μικρότερη κατανάλωση ενέργειας
    - Για τον ίδιο αριθμό τρανζίστορ!
  - Μεγαλύτερη ολοκλήρωση
    - Μείωση κόστους παραγωγής και αύξηση λειτουργικότητας
- Τρέχουσα εμπορική τεχνολογία:
  - «7-10nm» (όρος marketing, παλαιότερα συμβόλιζε το εύρος της πύλης του τρανζίστορ)



Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

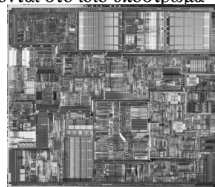
20

## Το (μικρο)τσιπ

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

- Επίσημος όρος: “Ολοκληρωμένο κύκλωμα”
  - Integrated Circuit (IC)
  - “micro(chip)”
  - όλα τα στοιχεία συνδυάζονται στο ίδιο υπόστρωμα πυριτίου.
    - Τρανζίστορ, αγωγοί
    - Πυκνωτές, αντιστάσεις

**Intel P4 processor microchip (2005)**  
169 εκ. τρανζίστορ  
90nm



Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

21

## Κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

- Γραμμές παραγωγής
  - Φωτολιθογραφία με μάσκες
    - Επικάλυψη με ειδικό φωτοανθεκτικό υλικό (photoresist)
    - Έκθεση σε υπεριώδες φως (με το ανάλογο μήκος κύματος)
    - Μέσω μιας μάσκας που επιλέγει τις περιοχές επεξεργασίας
    - Απομάκρυνση photoresist από επιλεγμένες περιοχές, αφήνοντας εκτεθειμένα τα μέρη προς επεξεργασία
  - Διεργασίες στα εκτεθειμένα μέρη
    - Οξείδωση, απόξεση, απόθεση μετάλλου, εμφύτευση ιόντων...
    - Ταυτόχρονα σε εκατομμύρια τρανζίστορ!
  - Επανάληψη
    - Από το βήμα της μάσκας

**i**  
Λόγω της απαιτούμενης ακρίβειας, μια γραμμή παραγωγής κοστίζει δις. \$

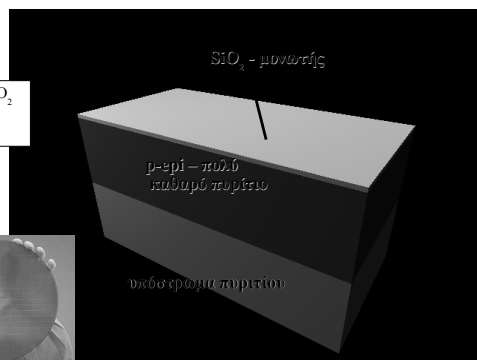
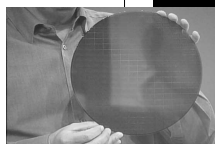
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

22

## Η αρχική επιφάνεια

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

Ένα λεπτό επίπεδο  $\text{SiO}_2$  σχηματίζεται με οξείδωση σε  $1000^\circ\text{C}$



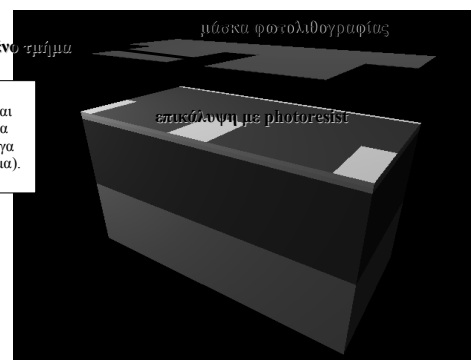
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

23

## Εφαρμογή photoresist και μάσκας

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

Η μάσκα της φωτολιθογραφίας είναι διαφορετική ανά βήμα επεξεργασίας (ανάλογα με το επιθυμητό σχήμα).



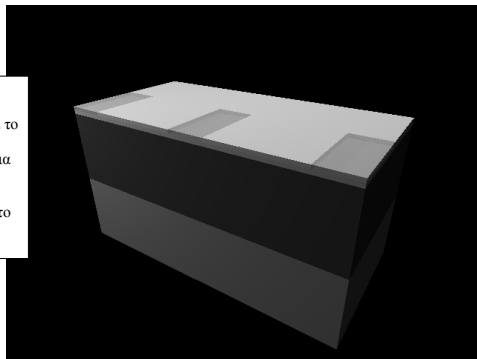
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

24

## Εφαρμογή υπεριώδους ακτινοβολίας

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

Στα μέρη που μένουν εκτεθειμένα, μετά την υπεριώδη ακτινοβολία το photoresist γίνεται εύπλαστο. Στη συνέχεια αφαιρείται με χημικό τρόπο, αφήνοντας εκτεθειμένα μέρη για το επόμενο βήμα καταργασίας.



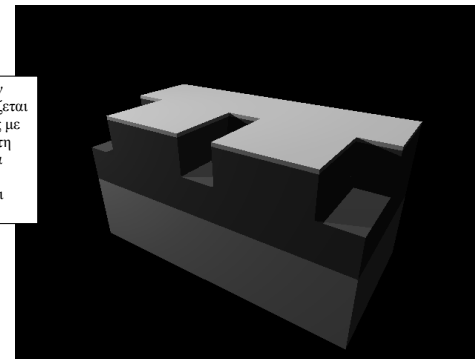
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

25

## Μετά την απόξεση

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

Στα μέρη που μένουν εκτεθειμένα εφαρμόζεται διαδικασία απόξεσης με τη βοήθεια οξέων. Στη συνέχεια η επιφάνεια καθαρίζεται με απιονισμένο νερό και στεγνώνει με άζωτο.



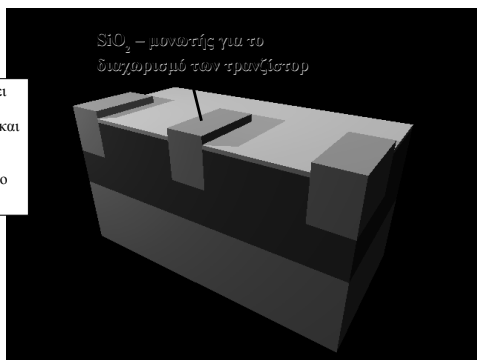
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

26

## Απόθεση νέων στρωμάτων $\text{SiO}_2$

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

Πριν το βήμα αυτό έχει προηγηθεί πάλι η εφαρμογή photoresist και μάσκας! Στο εξής η εφαρμογή μάσκας θα εννοείται πριν κάθε νέο βήμα.



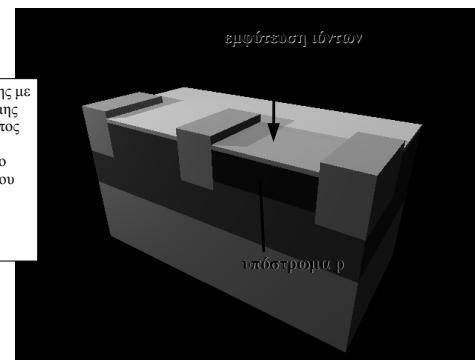
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

27

## Doping – Υπόστρωμα τρανζίστορ

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

Μέσω της εμφύτευσης με τη βοήθεια μιας δέσμης ιόντων, αλλάζει ο τύπος του ημιαγωγού της περιοχής κάτω από το λεπτό στρώμα οξειδίου σχηματίζοντας το υπόστρωμα των τρανζίστορ NMOS (doping)



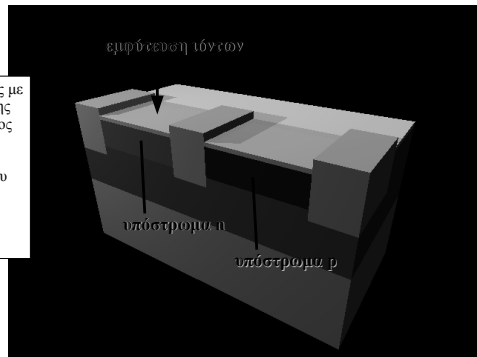
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

28

## Doping – Υπόστρωμα τρανζίστορ

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

Μέσω της εμφύτευσης με τη βοήθεια μιας δέσμης ιόντων, αλλάζει ο τύπος του ημιαγωγού της περιοχής κάτω από το λεπτό στρώμα οξειδίου σχηματίζοντας το υπόστρωμα των τρανζίστορ PMOS (doping)



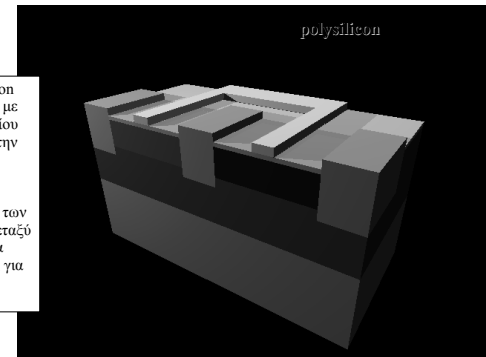
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

29

## Εναπόθεση polysilicon

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

Ένα σχήμα polysilicon εναποτίθεται χημικά με την κυκλοφορία αερίου μίγματος πάνω από την επιφάνεια πυριτίου θερμαινόμενη στους 650°C. Το σχήμα σχηματίζει τις πύλες των τρανζίστορ και τη μεταξύ τους διασύνδεση. Θα ακολουθήσει doping για να αυξηθεί η αγωγιμότητά του.



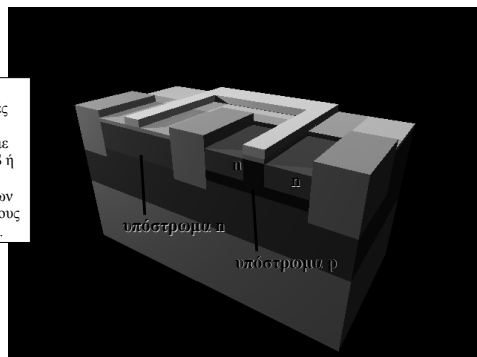
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

30

## Doping πηγής και καταβόθρας τρανζίστορ

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

Στη συνέχεια σχηματίζονται οι πηγές και καταβόθρες των τρανζίστορ ανάλογα με τον τύπο τους (NMOS ή PMOS) με εμφύτευση ιόντων. Δημιουργία των σημείων επαφής για τους αγωγούς διασύνδεσης.



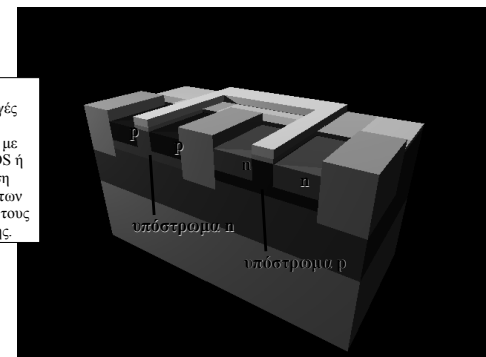
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

31

## Doping πηγής και καταβόθρας τρανζίστορ

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

Στη συνέχεια σχηματίζονται οι πηγές και καταβόθρες των τρανζίστορ ανάλογα με τον τύπο τους (NMOS ή PMOS) με εμφύτευση ιόντων. Δημιουργία των σημείων επαφής για τους αγωγούς διασύνδεσης.



Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

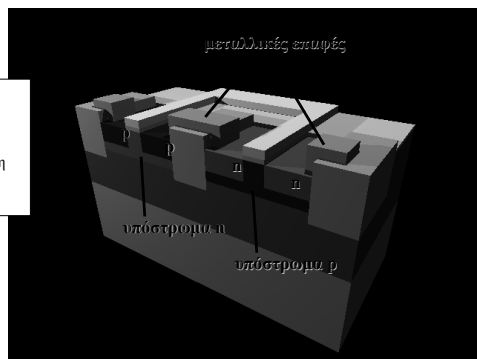
32



## Πρώτο επίπεδο μεταλικών συνδέσεων

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

Τα επίπεδα μετάλλου δημιουργούνται με εξαγωγή του μεταλλικού υλικού σε κενό υπό την επίδραση δέσμης ηλεκτρονίων.



Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

33

## Διαδικασία παραγωγής

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

- Στην πραγματικότητα
  - Οι δημιουργούμενες επιφάνειες δεν είναι απόλυτα επίπεδες – ούτε έχουν κάθετες γωνίες
    - τα χαρακτηριστικά είναι πιο ακανόνιστα
  - Οι αναλογίες διαστάσεων είναι διαφορετικές
    - ειδικά μελετημένες για την επιθυμητή ροή ηλεκτρονίων
  - Τα επίπεδα μετάλλου είναι πολύ περισσότερα
    - καταλαμβάνουν μεγάλο μέρος του ολοκληρωμένου κυκλώματος
  - Τα βήματα κατασκευής είναι πολύ περισσότερα (40+)
    - από την απλουστευμένη εικόνα που είδαμε
    - οι δομές που κατασκευάζονται είναι πολύπλοκότερες

Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών – “Εισαγωγή στους Υπολογιστές”

34