

Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Πληροφορικής  
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών  
2023-24

# 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)
  - Χειρισμός δεδομένων
    - Λογισμικό (software)
  - Αλγόριθμοι (εισαγωγικά)
    - και Δομές Δεδομένων

# Σχετικά με το μάθημα

- Εισαγωγή

- Βαθμολόγηση
  - Με γραπτές εξετάσεις
- Βιβλία για το μάθημα
  - Behrouz A. Forouzan, “Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών”, ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ, 2015.
  - Καλαφατούδης, Δροσίτης, Κοίλιας, "Εισαγωγή στις Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνίας", 1η έκδοση, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ, 2011.

# Ο «Υπολογιστής»

- Εισαγωγή



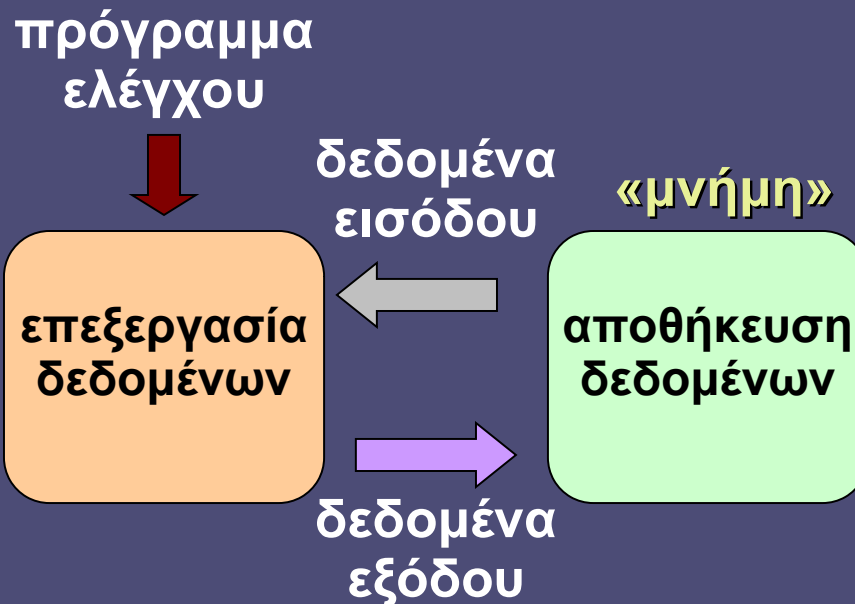
- Ο «Υπολογιστής» μετασχηματίζει δεδομένα εισόδου σε δεδομένα εξόδου, βάσει ενός προγράμματος ελέγχου
  - Τυπικός ορισμός – καλύπτει όμως όλες τις περιπτώσεις χρήσης
    - είμαστε στο fb; ασχολούμαστε με το gaming; οδηγούμε; (κ.ο.κ.)

# Η «μνήμη»

- Εισαγωγή

**i**

Στην πραγματικότητα η «μνήμη» είναι μια ιεραρχία υποσυστημάτων (κρυφές μνήμες, κύρια μνήμη)

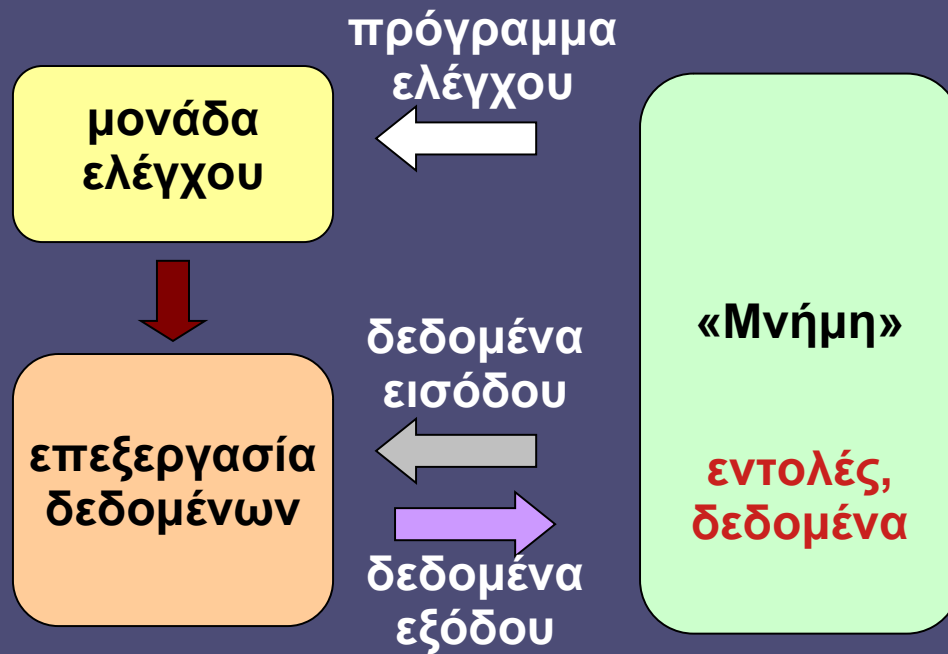


- Τα δεδομένα εισόδου και εξόδου αποθηκεύονται στη «μνήμη»
  - Και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επόμενη φάση επεξεργασίας
  - Το πρόγραμμα ελέγχου πού βρίσκεται αποθηκευμένο;

# Το μοντέλο “von Neumann”



Η καινοτομία (στην εποχή των πρώτων υπολογιστών): το πρόγραμμα ελέγχου είναι επίσης δεδομένα.



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

# Το πρόγραμμα ελέγχου (εντολές)

- Είναι ένα σύνολο «οδηγιών»
  - Περιγράφει την επεξεργασία που θα γίνει πάνω στα δεδομένα εισόδου
  - Κάθε «οδηγία» ονομάζεται εντολή μηχανής
    - εκτελεί μια μικρή, αυτοτελή λειτουργία
    - το πρόγραμμα (ελέγχου) αποτελείται από πάρα πολλές εντολές μηχανής
  - Η εντολή μηχανής διαφέρει από τις εντολές υψηλού επιπέδου των γλωσσών προγραμματισμού
    - Κάθε εντολή της γλώσσας προγραμματισμού μεταφράζεται (μεταγλωττίζεται) σε πολλές εντολές μηχανής

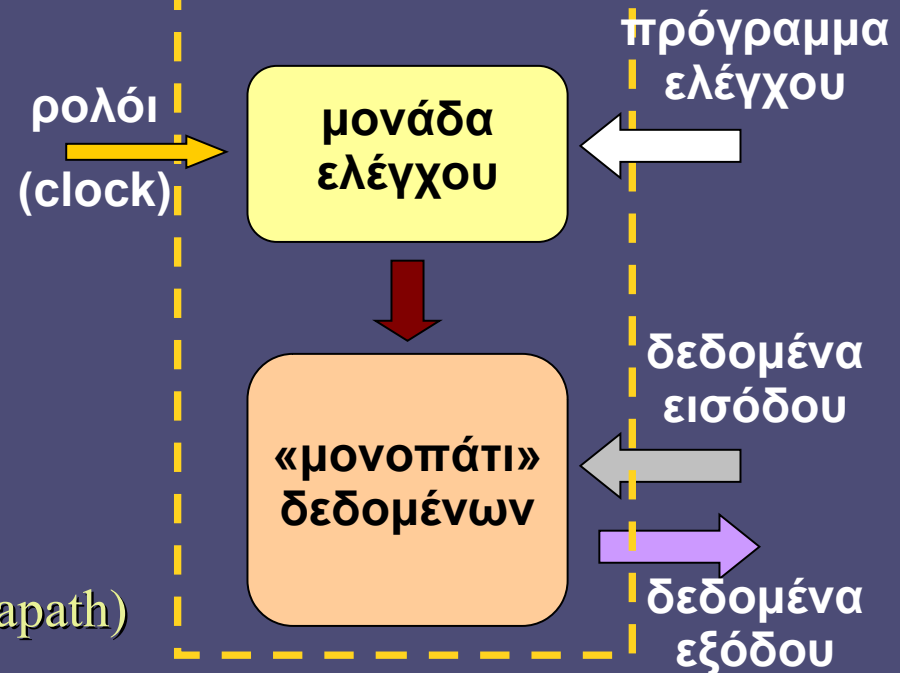
# Εντολή Μηχανής (Machine Instruction)

- **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
- **Εξαίρεση: εντολές διακλάδωσης**
  - Εάν μια συνθήκη είναι αληθής, τότε γίνεται μεταφορά της εκτέλεσης σε διαφορετικό σημείο του προγράμματος (όχι στην επόμενη θέση μνήμης)
    - εντολές **branch** (ή **jump**)
    - Θα μπορούσε να υλοποιηθεί ένα χρήσιμο πρόγραμμα εάν δεν υπήρχαν εντολές διακλάδωσης;



# Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)

## Central Processing Unit (CPU)



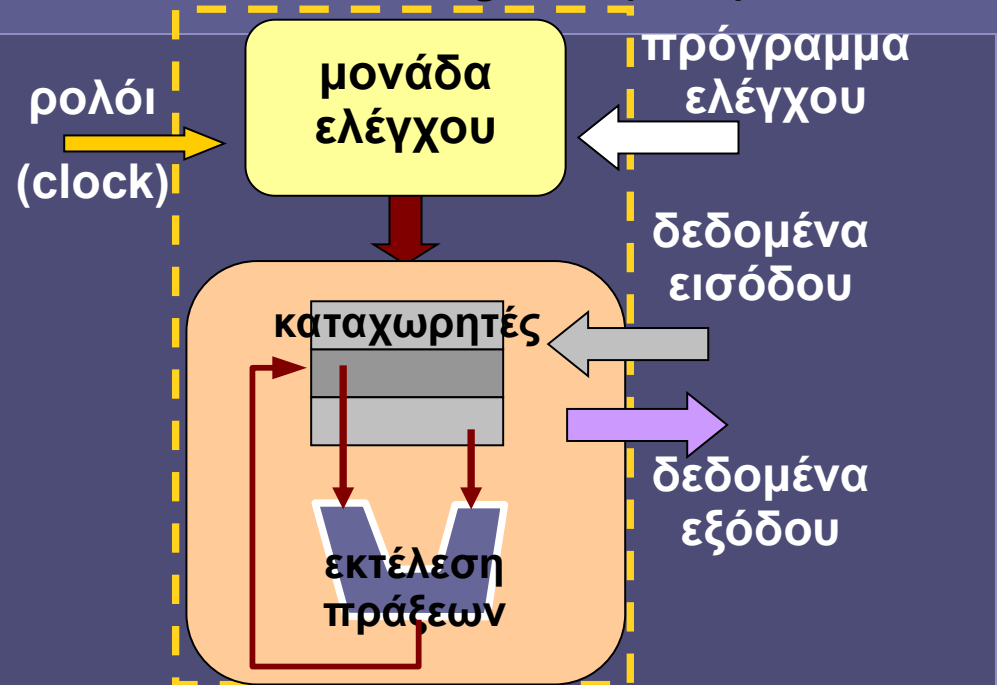
;

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

- **«Μονοπάτι» δεδομένων (datapath)**
  - Εκτέλεση πράξεων
- **Μονάδα ελέγχου (control unit)**
  - Επιλογή πράξης σύμφωνα με κάθε εντολή
- **(Συγ)χρονισμός μέσω ενός σήματος ρολογιού (clock)**
  - Καθορίζει την έναρξη της επόμενης λειτουργίας

# Το μονοπάτι δεδομένων (datapath)

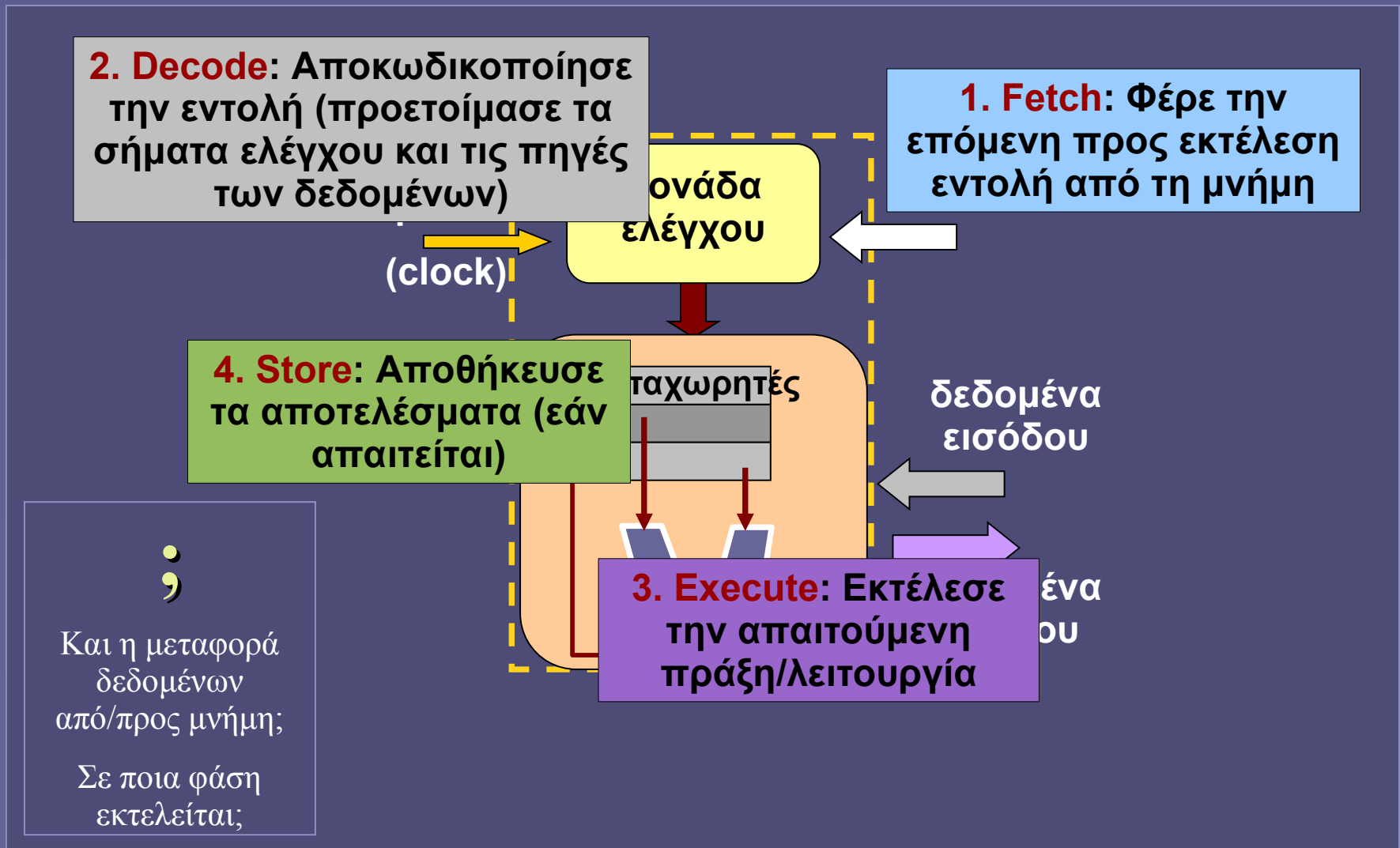
## Central Processing Unit (CPU)



- Καταχωρητές (registers)

- Θέσεις προσωρινής αποθήκευσης μέσα στην ΚΜΕ, γρήγορης προσπέλασης αλλά σε περιορισμένο αριθμό
- Οι καταχωρητές παρέχουν τα δεδομένα εισόδου κατά την εκτέλεση των πράξεων.
- Στους καταχωρητές αποθηκεύονται επίσης τα αποτελέσματα των πράξεων.

# Εκτέλεση εντολών: ο κύκλος μηχανής



# Σε ποια μορφή βρίσκονται τα δεδομένα;

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

# Η τρέχουσα τεχνολογία των υπολογιστών

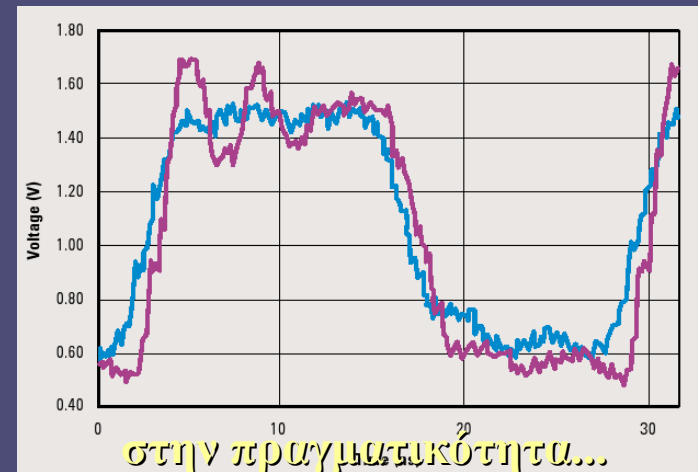
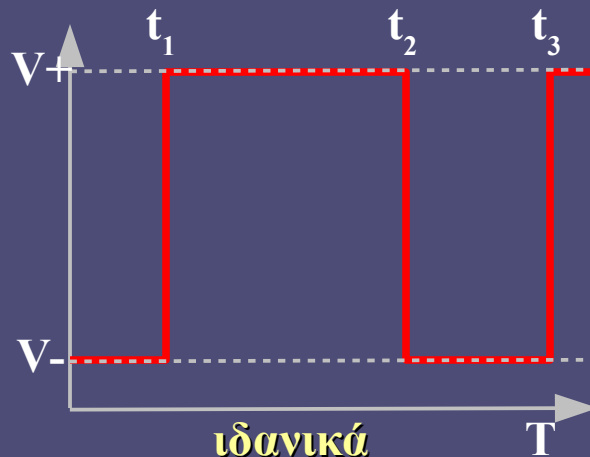
- Ηλεκτρονική
  - Τα στοιχεία που συγκροτούν τους υπολογιστές λειτουργούν με στάθμες τάσης ή φορά ρεύματος
- Ψηφιακή
  - Οι επιτρεπόμενες τιμές ανήκουν σε διακριτές στάθμες
- Δυαδική
  - Δύο στάθμες, ON ή OFF, '0' ή '1'
  - Τα στοιχεία που συγκροτούν τους υπολογιστές υλοποιούν διακοπτικές λειτουργίες
    - «κλειστός διακόπτης»: περνάει ρεύμα
    - «ανοικτός διακόπτης»: δεν περνάει ρεύμα

# Στάθμες ψηφιακού σήματος

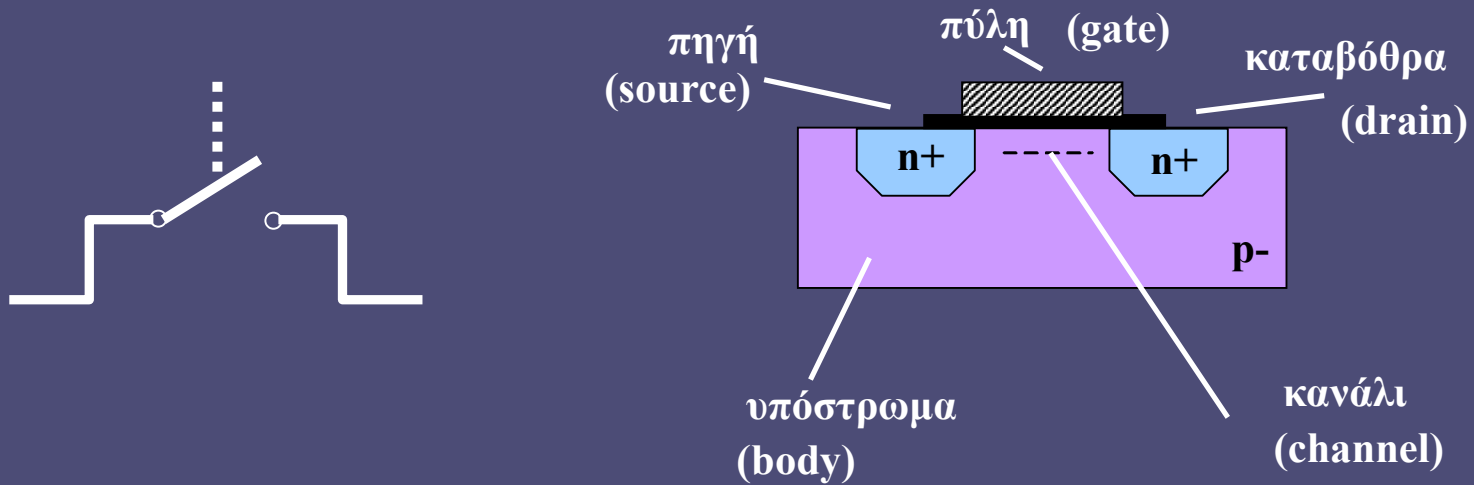
- Δυαδική λογική
  - 2 στάθμες
    - V+ και V- («Τροφοδοσία» και «γείωση»)
    - Αναπαριστούν το λογικό 1 και 0 αντίστοιχα
  - Κυματομορφές
    - Η στάθμη τάσης σε ένα σημείο του κυκλώματος στην εξέλιξη του χρόνου

**i**

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



# Το τρανζίστορ MOSFET



- Ο **μικροσκοπικός** διακόπτης των σύγχρονων κυκλωμάτων κατασκευασμένος από **ημιαγωγικά** υλικά
  - Η θεωρία λειτουργίας του είναι γνωστή από το 1925
  - ...αλλά τα πρώτα λειτουργικά κυκλώματα κατασκευάστηκαν τη δεκαετία του 60

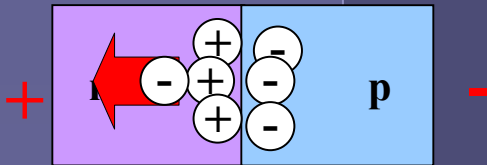
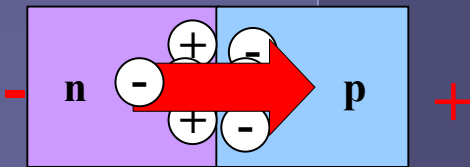
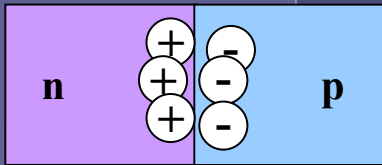
# Ημιαγωγοί

- 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



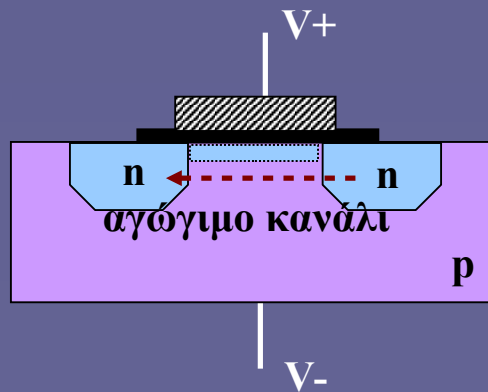
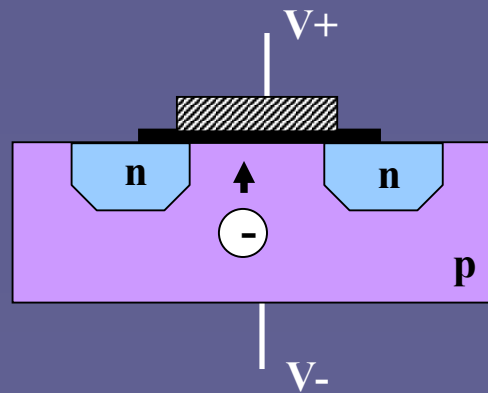
# Ημιαγωγοί (2)

- 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

# Λειτουργία του τρανζίστορ MOSFET



**i**

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

# Η συρρίκνωση του τρανζίστορ

- Ένας σύγχρονος επεξεργαστής μπορεί να περιέχει από 1 έως 30+ δις τρανζίστορ σε μία επιφάνεια 280-400mm<sup>2</sup> (συχνά σε πολλαπλά επίπεδα)
- 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:
  - Περίπου 100εκ. τρανζίστορ/mm<sup>2</sup>

# Κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

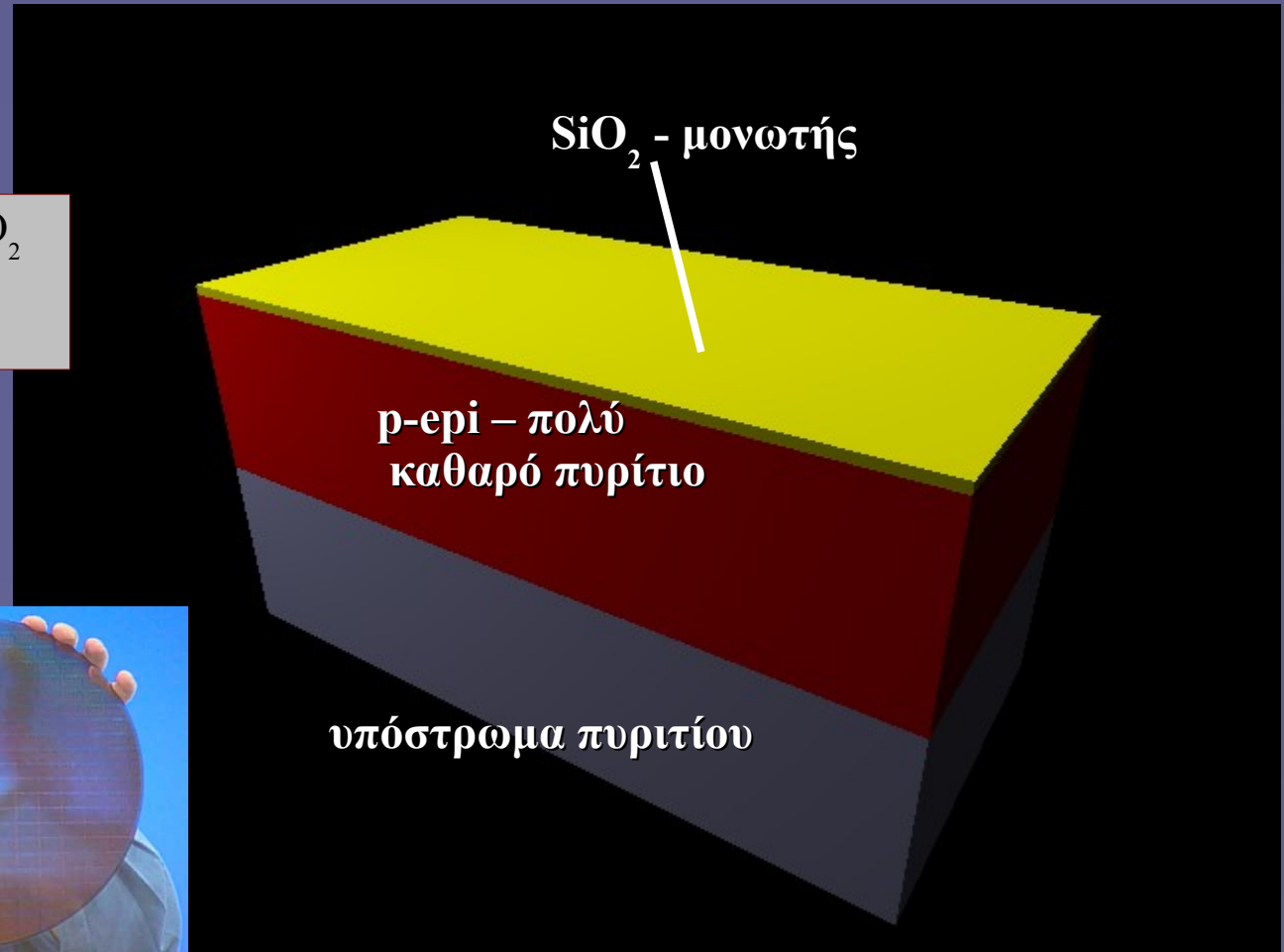
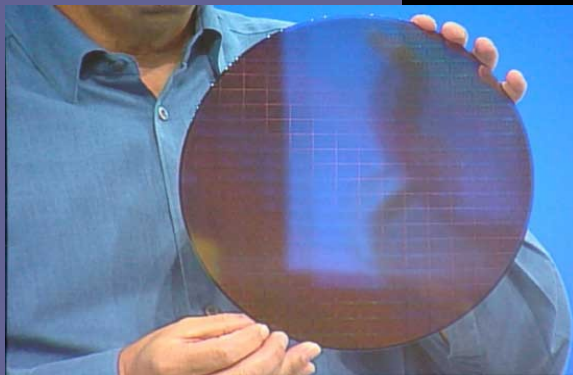
- Γραμμές παραγωγής
  - **Φωτολιθογραφία με μάσκες**
    - Επικάλυψη με ειδικό φωτοανθεκτικό υλικό (photoresist)
    - Έκθεση σε υπεριώδες φως (με το ανάλογο μήκος κύματος)
    - Μέσω μιας μάσκας που επιλέγει τις περιοχές επεξεργασίας
    - Απομάκρυνση photoresist από επιλεγμένες περιοχές, αφήνοντας 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. \$

# Η αρχική επιφάνεια

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



# Εφαρμογή photoresist και μάσκας

εκτεθειμένο τμήμα

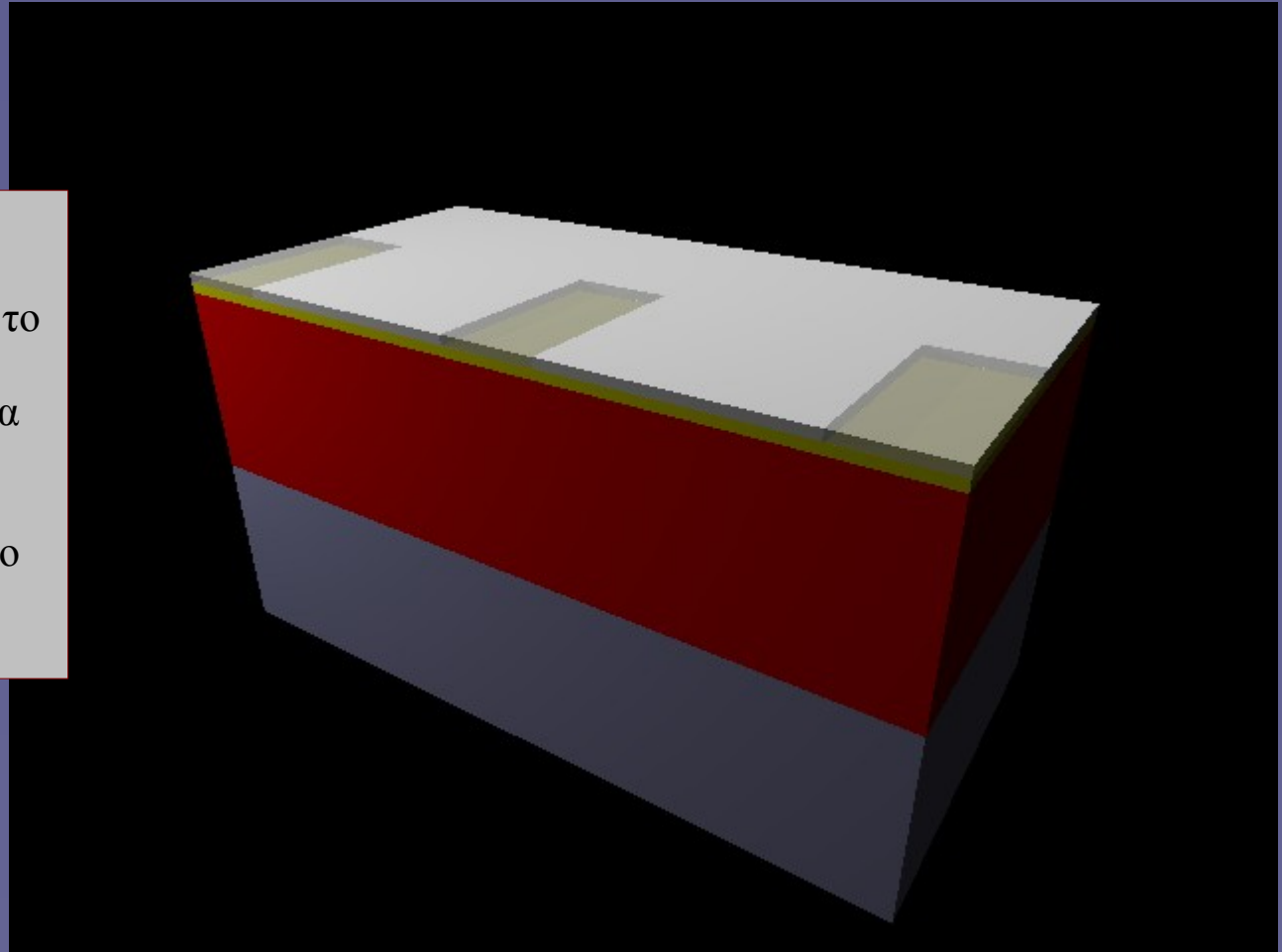
μάσκα φωτολιθογραφίας

επικάλυψη με photoresist

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

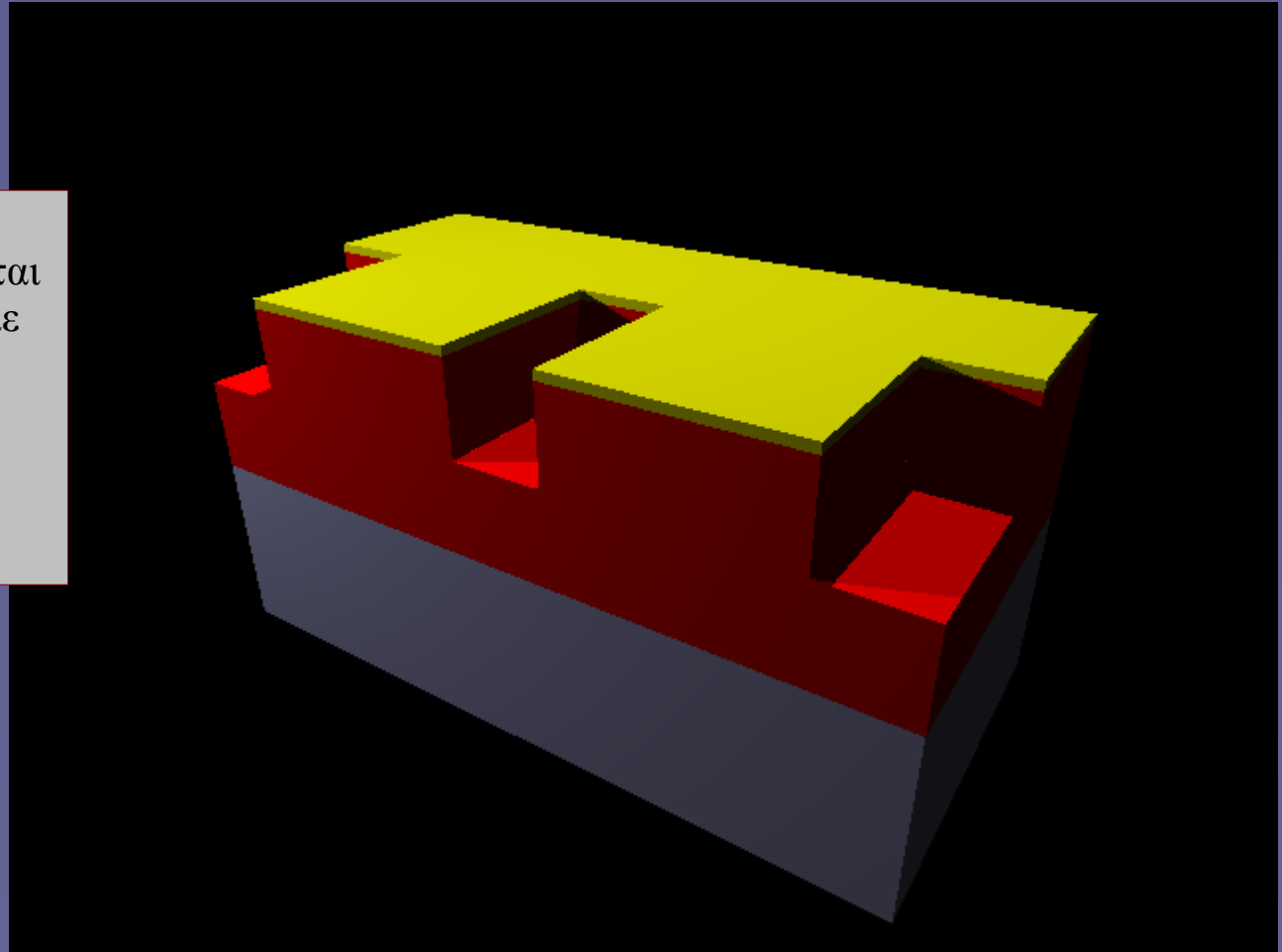
# Εφαρμογή υπεριώδους ακτινοβολίας

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 κατεργασίας.



# Μετά την απόξεση

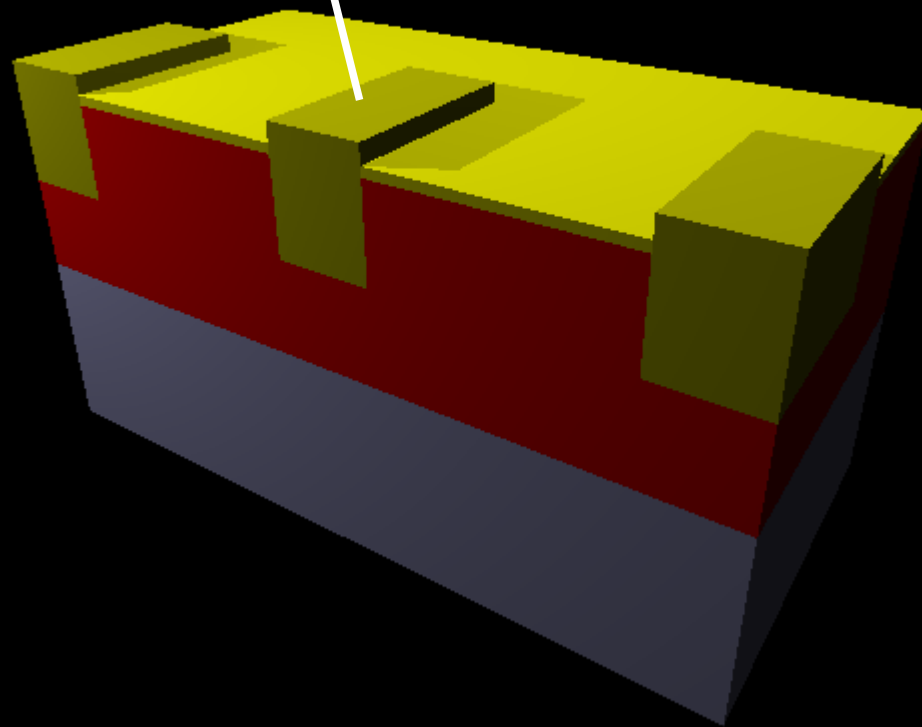
Στα μέρη που μένουν εκτεθειμένα εφαρμόζεται διαδικασία απόξεσης με τη βοήθεια οξέων. Στη συνέχεια η επιφάνεια καθαρίζεται με απιονισμένο νερό και στεγνώνει με άζωτο.





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

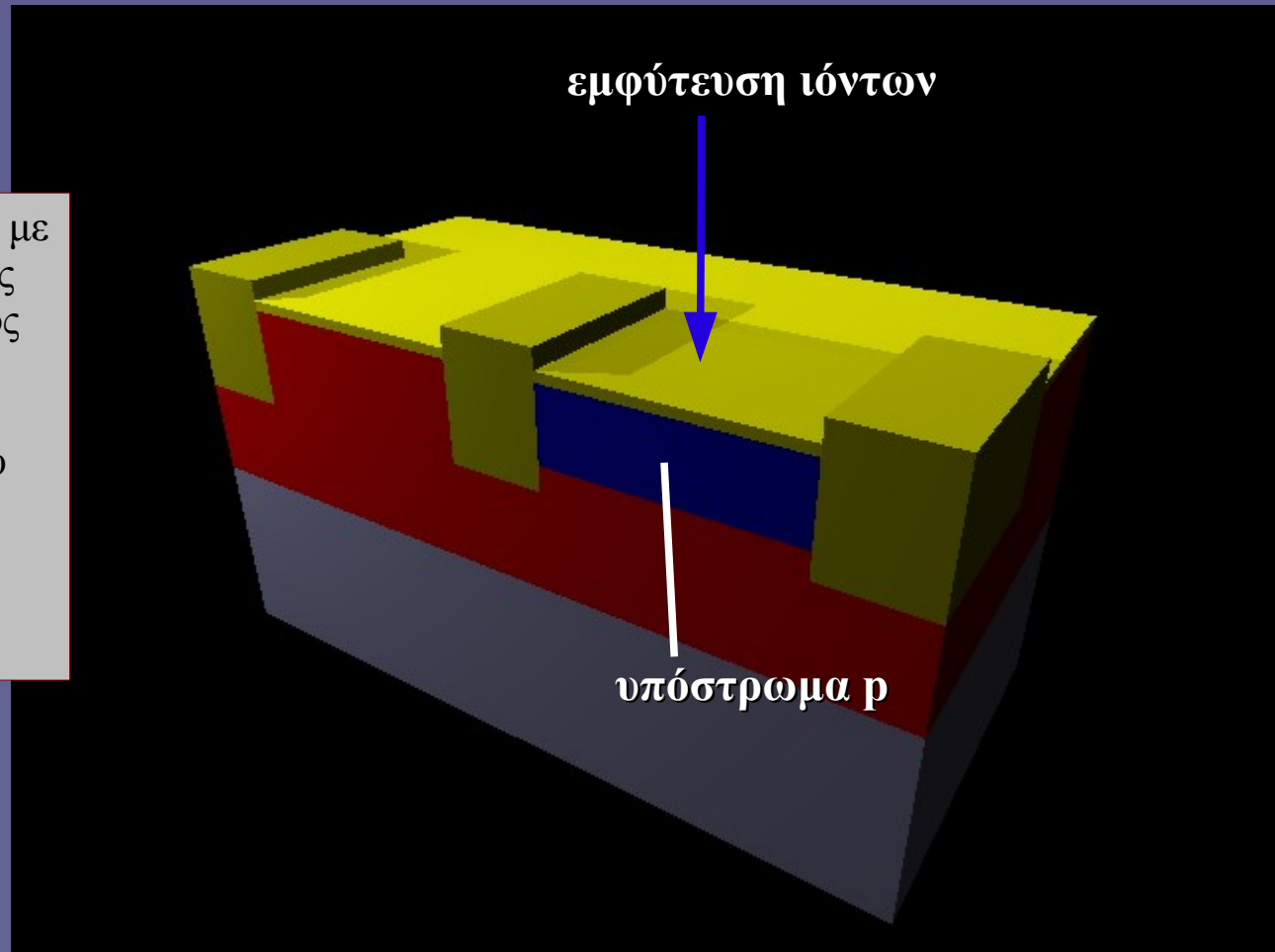
$\text{SiO}_2$  – μονωτής για το  
διαχωρισμό των τρανζίστορ



Πριν το βήμα αυτό (και όλα τα επόμενα) έχει προηγηθεί πάλι η εφαρμογή photoresist και μάσκας.

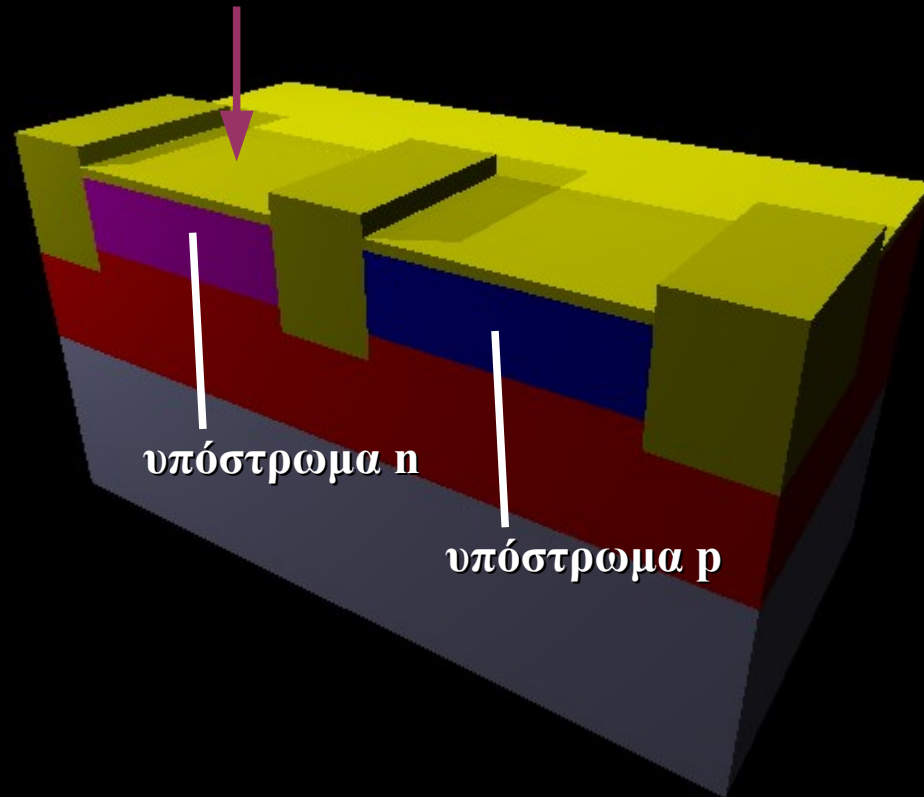
# Doping – Υπόστρωμα τρανζίστορ

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)



# Doping – Υπόστρωμα τρανζίστορ

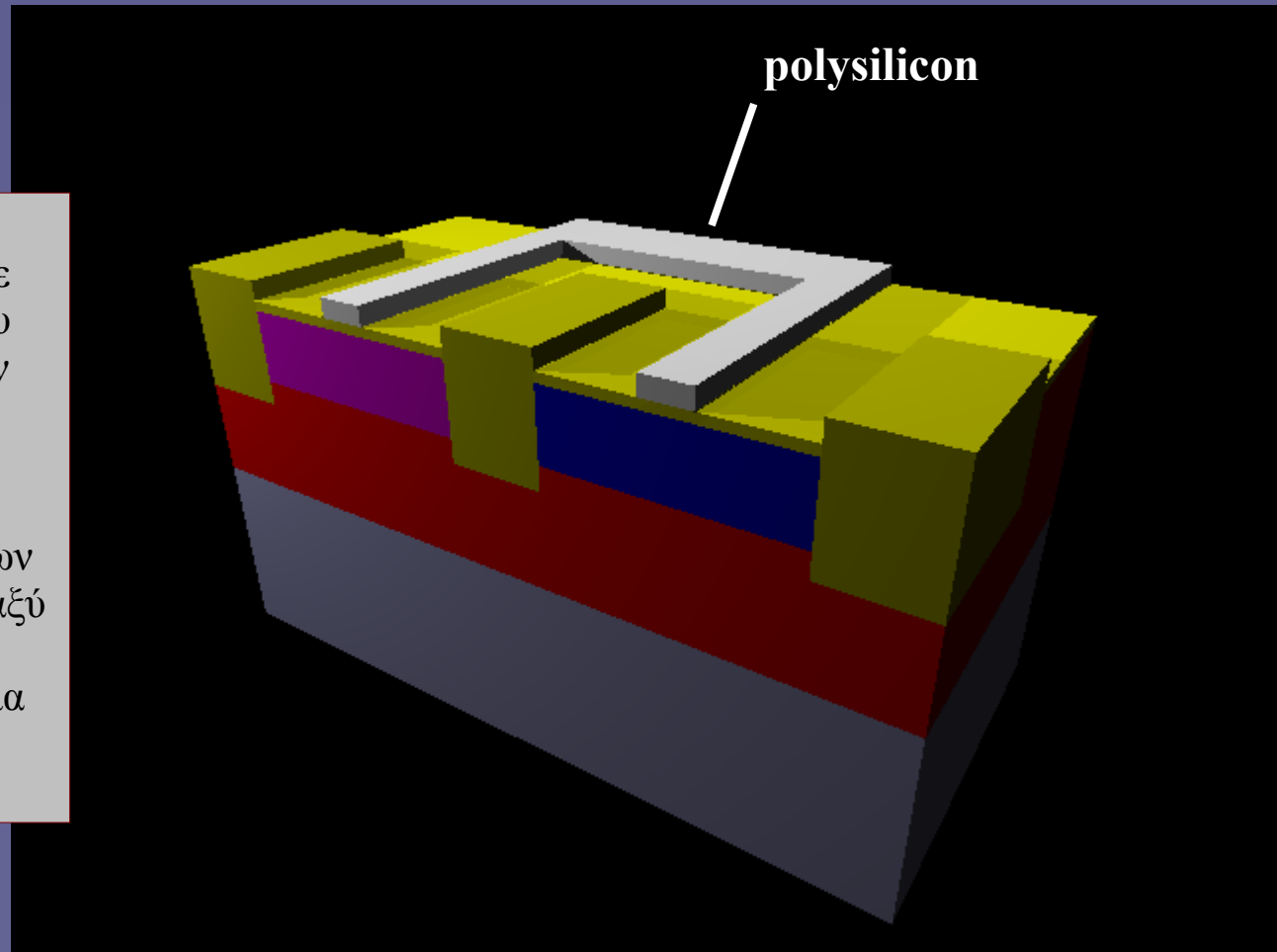
εμφύτευση ιόντων



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)

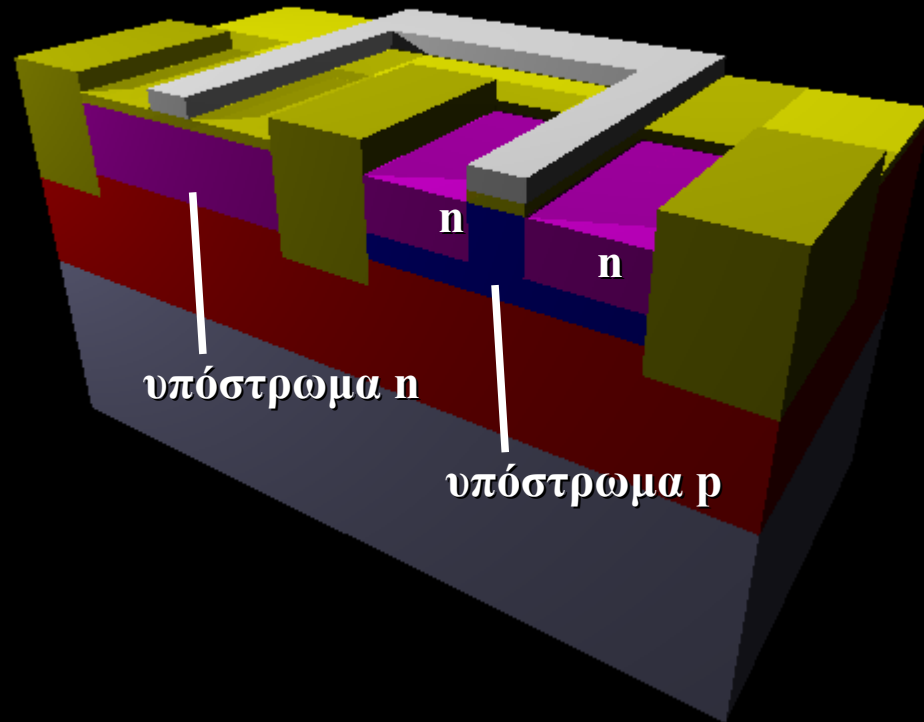
# Εναπόθεση polysilicon

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.



# Doping πηγής και καταβόθρας τρανζίστορ

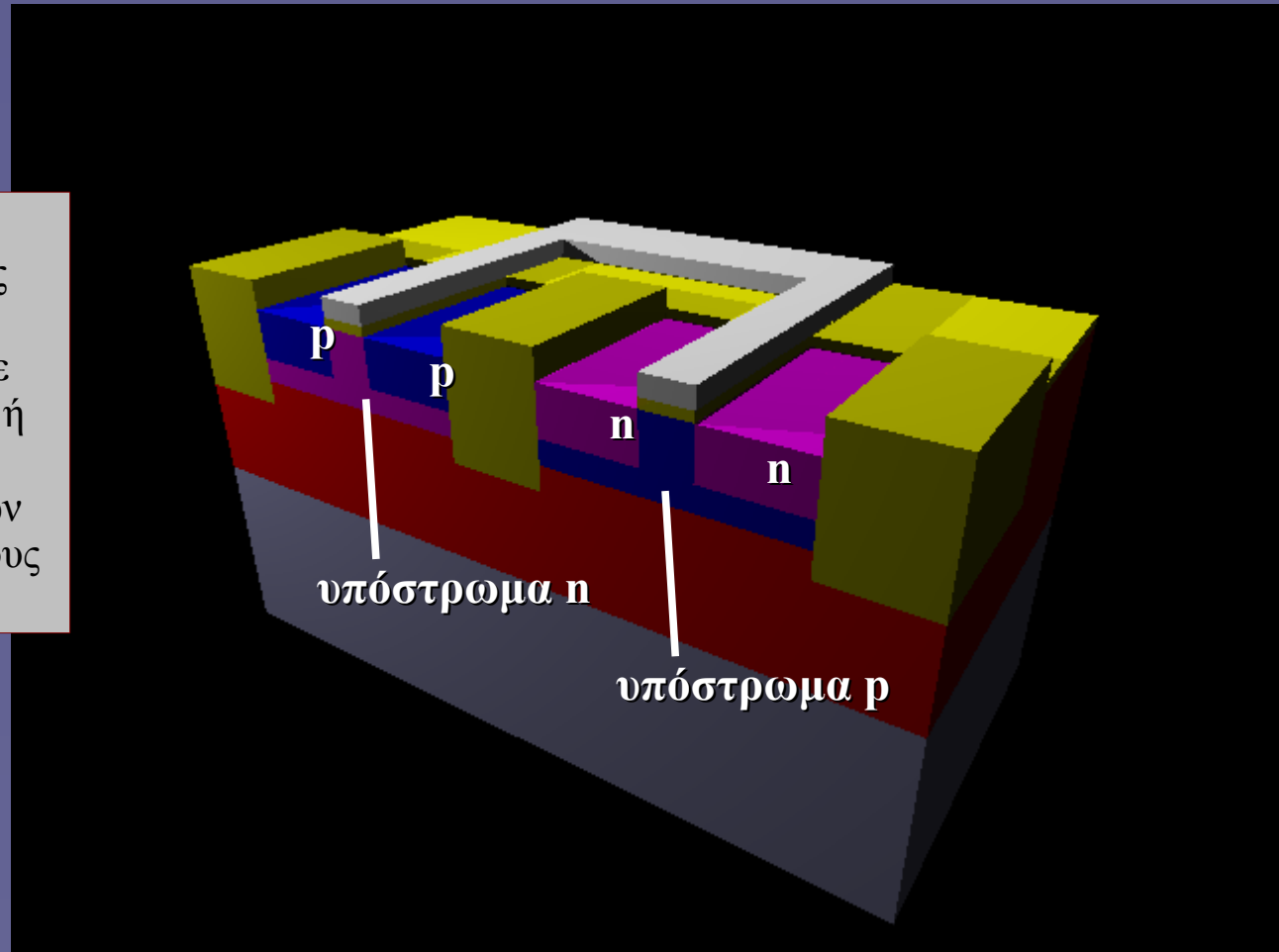
Στη συνέχεια σχηματίζονται οι πηγές και καταβόθρες των τρανζίστορ ανάλογα με τον τύπο τους (NMOS ή PMOS) με εμφύτευση ιόντων. Δημιουργία των σημείων επαφής για τους αγωγούς διασύνδεσης.



# Doping πηγής και καταβόθρας τρανζίστορ

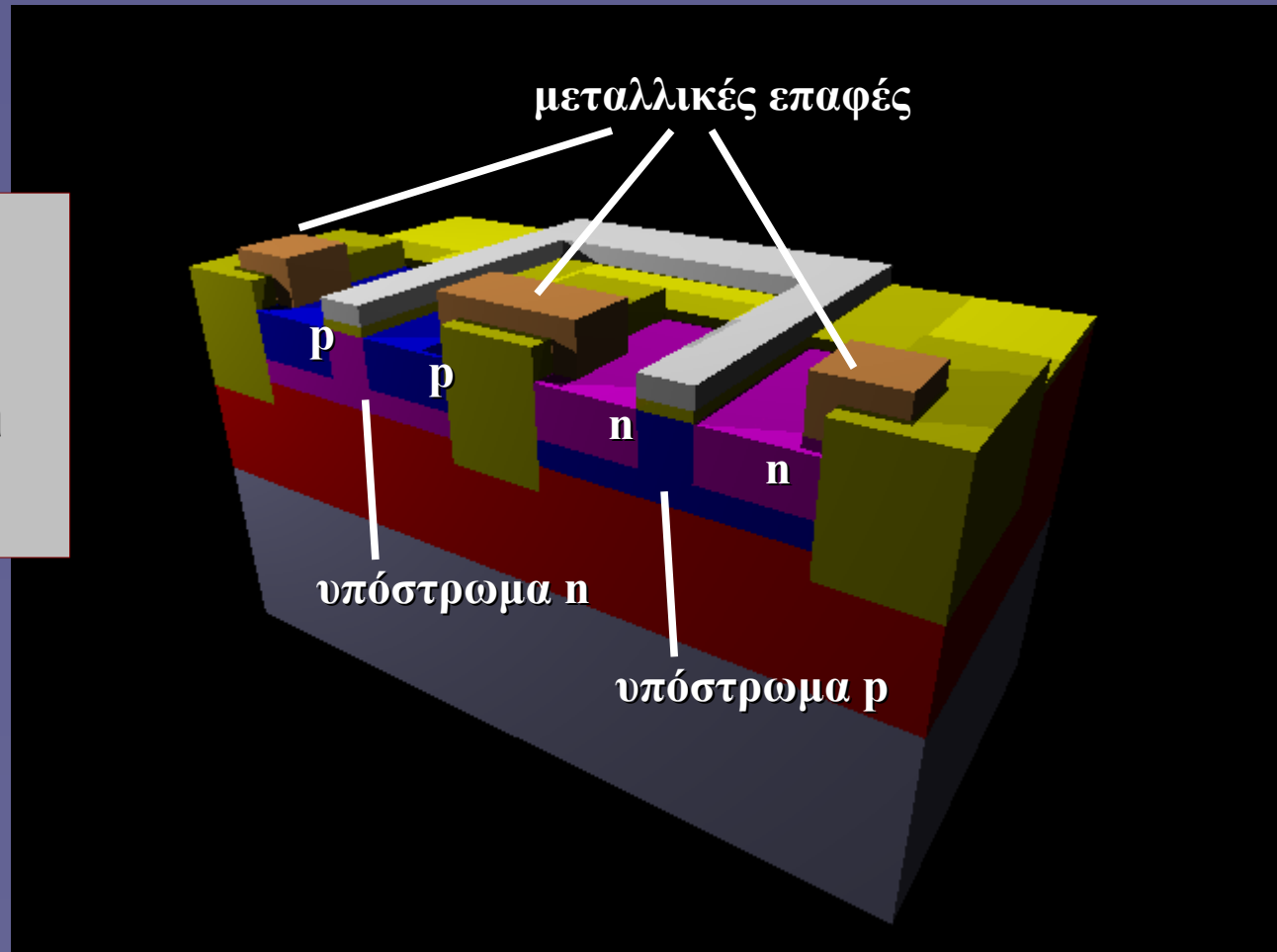
- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

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.



# Πρώτο επίπεδο μεταλλικών συνδέσεων

Τα επίπεδα μέταλλου δημιουργούνται με εξάχνωση του μεταλλικού υλικού σε κενό υπό την επίδραση δέσμης ηλεκτρονίων.



# Διαδικασία παραγωγής

- Στην πραγματικότητα
  - Οι δημιουργούμενες επιφάνειες δεν είναι απόλυτα επίπεδες – ούτε έχουν κάθετες γωνίες
    - τα χαρακτηριστικά είναι πολύ 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 πολυπλοκότερες
    - Απαιτούν πολλαπλά στάδια επεξεργασίας