

Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Πληροφορικής  
Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών  
2022-23

# 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.
  - Καλαφατούδης, Δροσίτης, Κοίλιας, "Εισαγωγή στις Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνίας", 1η έκδοση, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΝΕΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ, 2011.

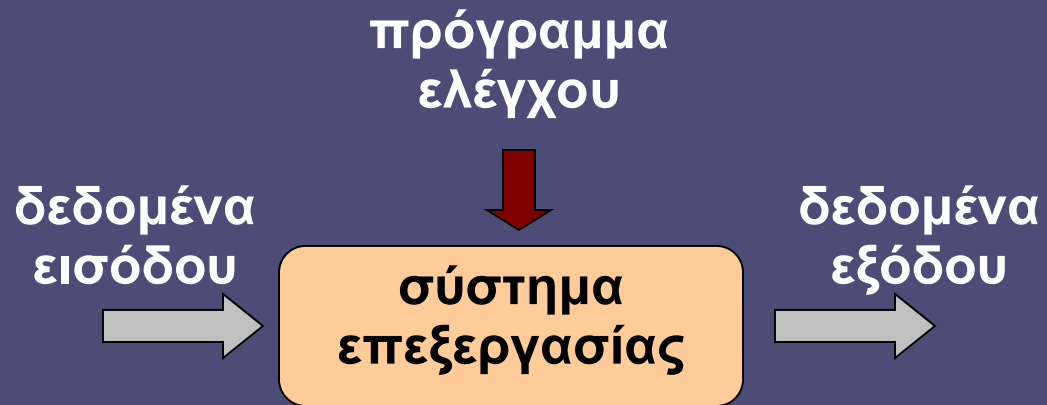
# Ο «υπολογιστής»

- 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

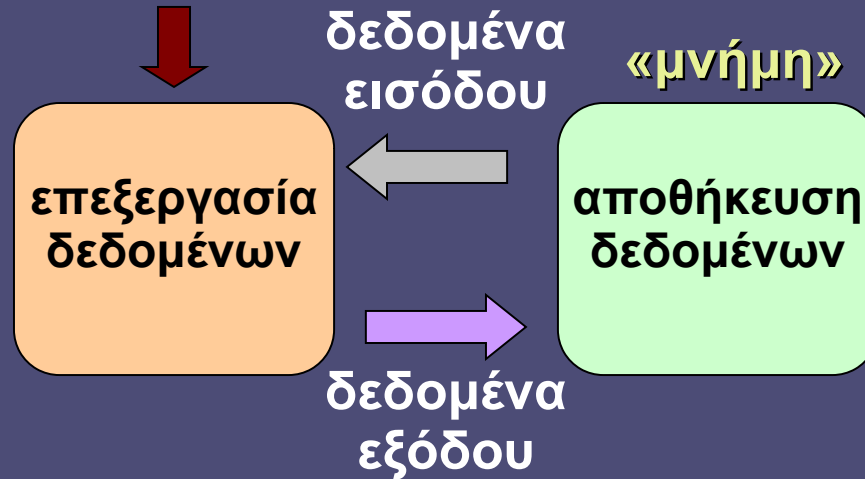
# Η «μνήμη»

- Εισαγωγή

i

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

πρόγραμμα  
ελέγχου



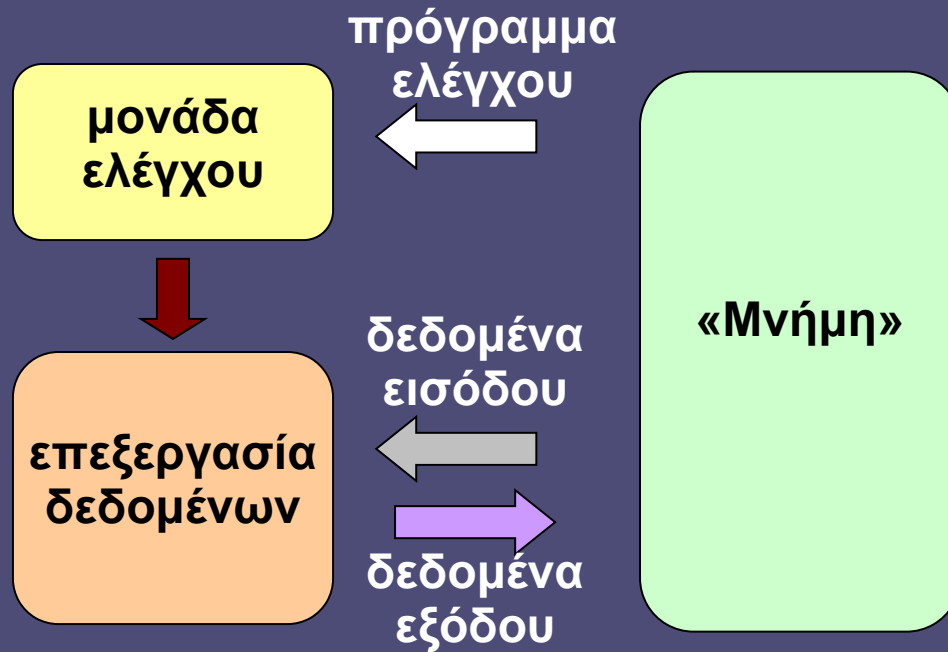
- Τα δεδομένα εισόδου και εξόδου αποθηκεύονται στη «μνήμη»
  - Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επόμενη φάση επεξεργασίας
  - Και το πρόγραμμα ελέγχου που βρίσκεται αποθηκευμένο;

# 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

# 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

# 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

- Εξαίρεση: εντολές διακλάδωσης

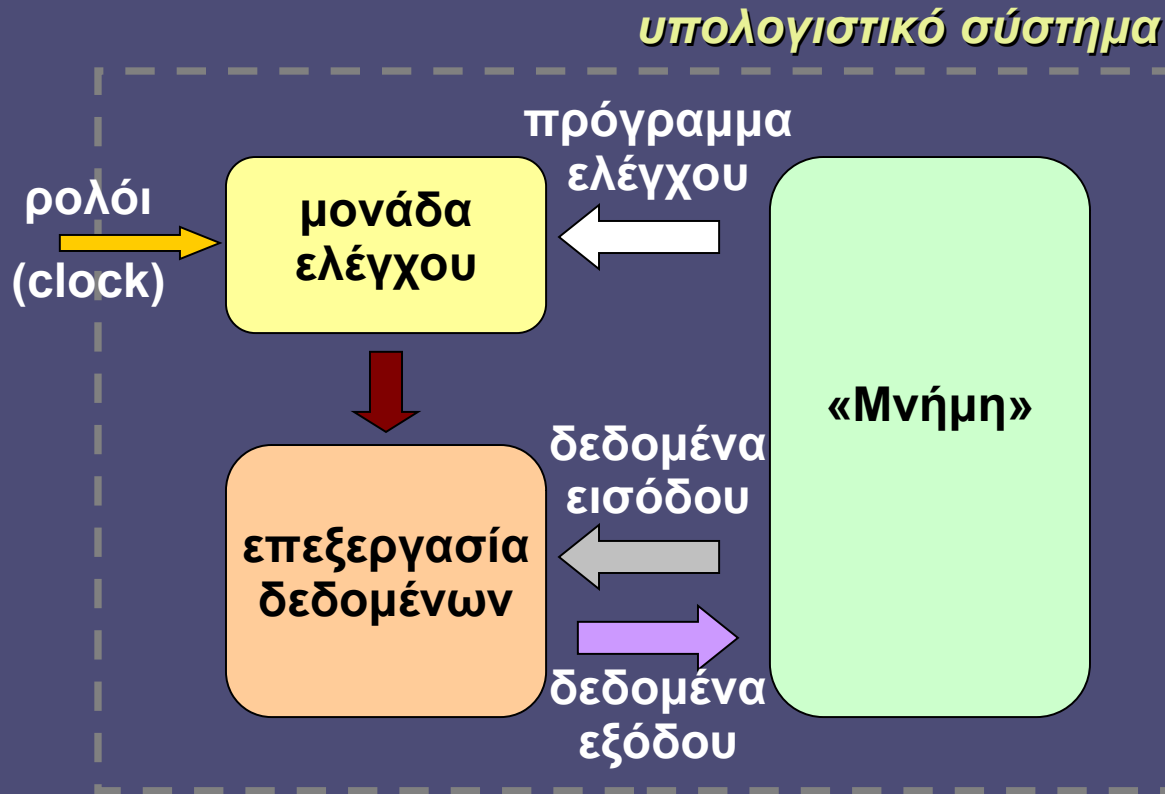
- Εάν μια συνθήκη είναι αληθής, τότε μεταφορά της εκτέλεσης σε διαφορετικό σημείο του προγράμματος (όχι στην επόμενη θέση μνήμης)
    - **branch** (ή **jump**)

# Χρονισμός υπολογιστικού συστήματος

- Εισαγωγή



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



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

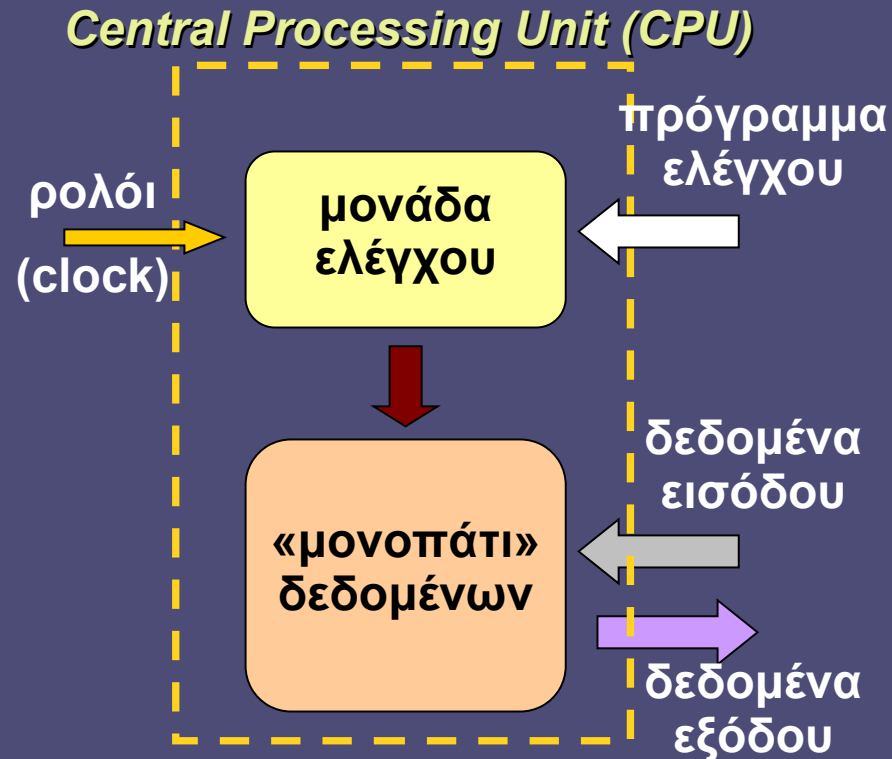


# Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)

- Εισαγωγή

;

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

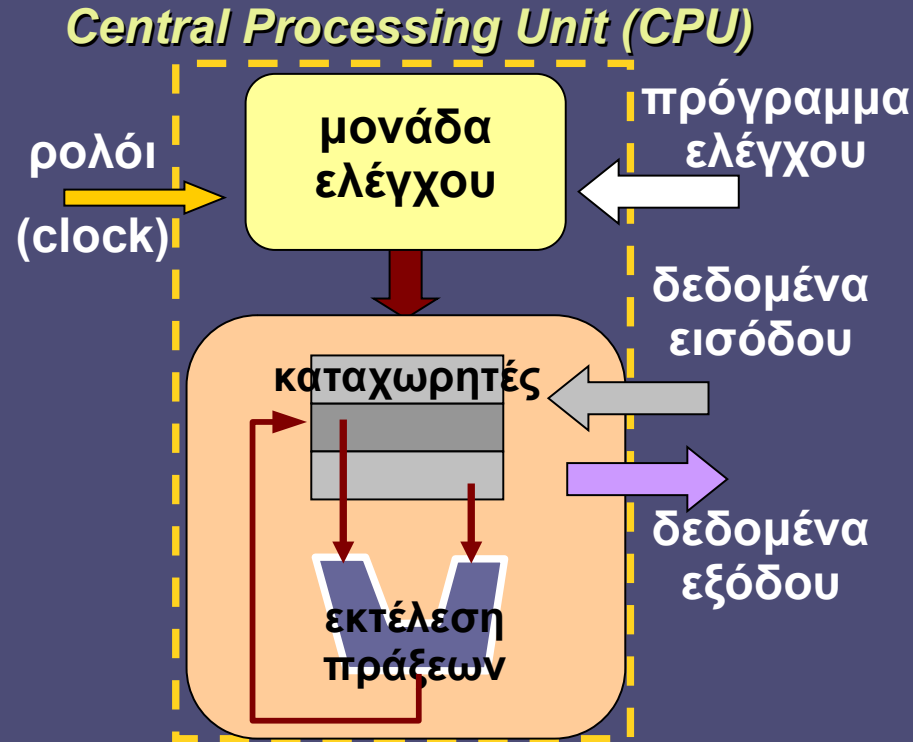
# Τι περιέχει το μονοπάτι δεδομένων

- Εισαγωγή

**i**

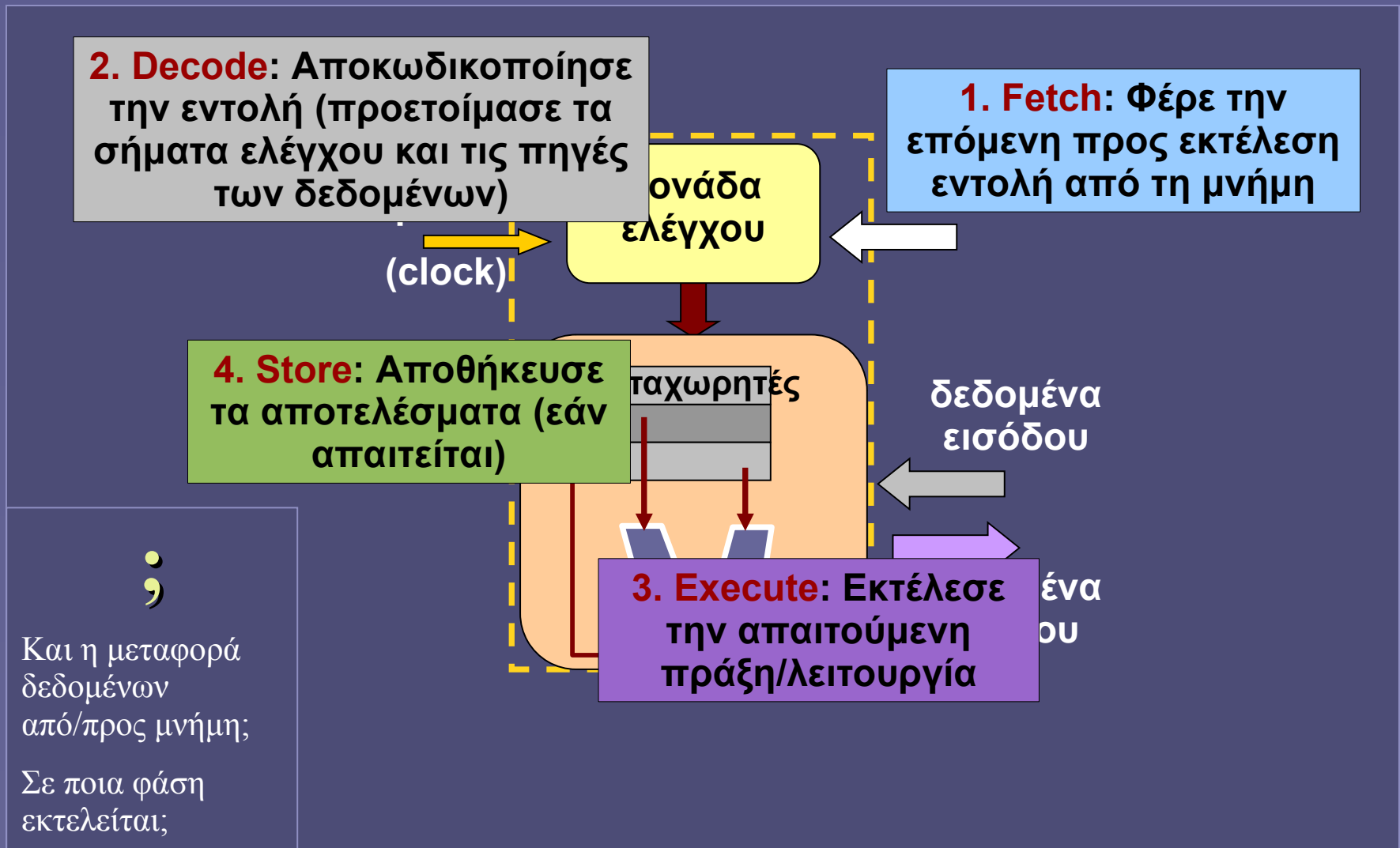
Οι καταχωρητές παρέχουν τα δεδομένα εισόδου κατά την εκτέλεση των πράξεων.

Στους καταχωρητές αποθηκεύονται επίσης τα αποτελέσματα των πράξεων.



- **Καταχωρητές (registers)**
  - Θέσεις προσωρινής αποθήκευσης, γρήγορης προσπέλασης (περιορισμένος αριθμός: 16, 32 ή 64)
- **Μονάδες εκτέλεσης αριθμητικών (και άλλων) πράξεων**

# Εκτέλεση εντολών: ο κύκλος μηχανής



# 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;**

# Η τρέχουσα τεχνολογία των υπολογιστών

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

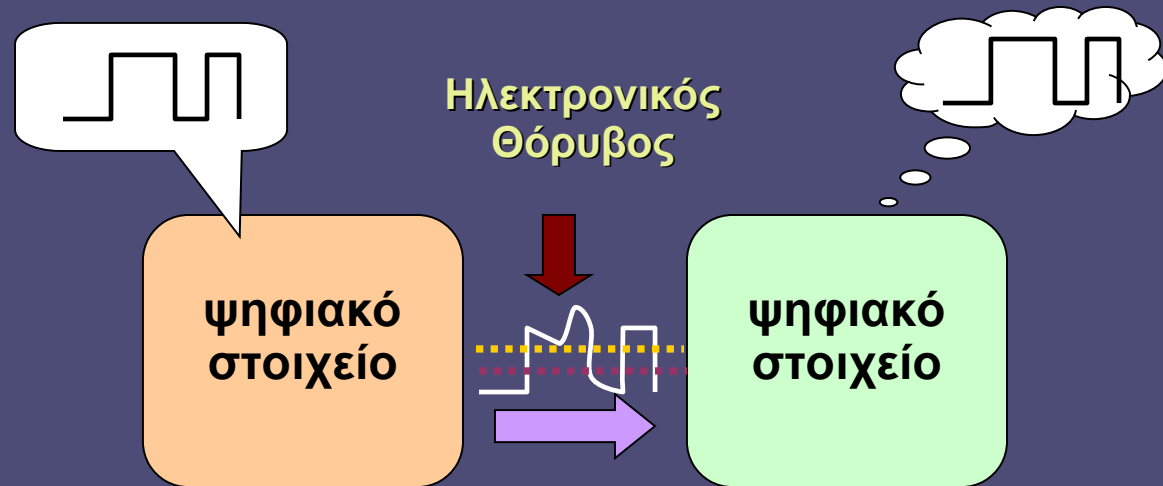
- Ηλεκτρονική
  - Τα στοιχεία που συγκροτούν τους υπολογιστές λειτουργούν με στάθμες τάσης ή φορά ρεύματος
  - Υλοποίηση με ημιαγωγούς
- Ψηφιακή
  - Οι επιτρεπόμενες τιμές ανήκουν σε διακριτές στάθμες
- Δυαδική
  - Δύο στάθμες, ON ή OFF, ‘0’ ή ‘1’
  - Τα στοιχεία που συγκροτούν τους υπολογιστές υλοποιούν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

# 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

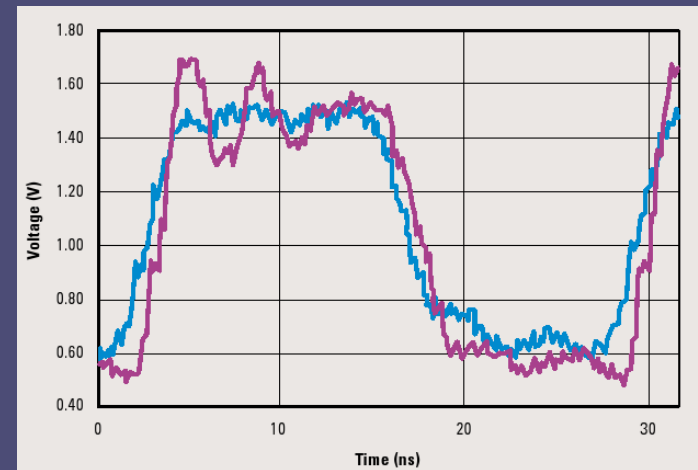
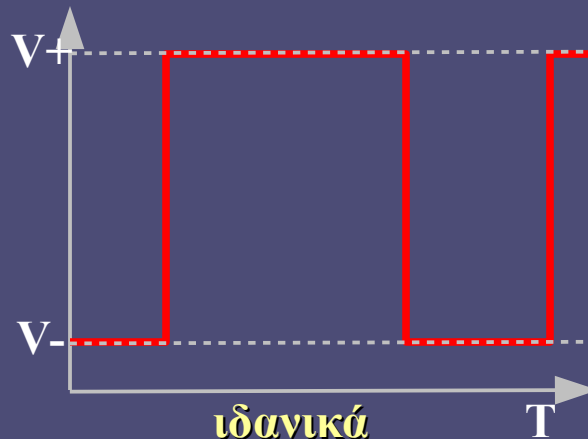
# Στάθμες ψηφιακού σήματος

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

**i**

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

- 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

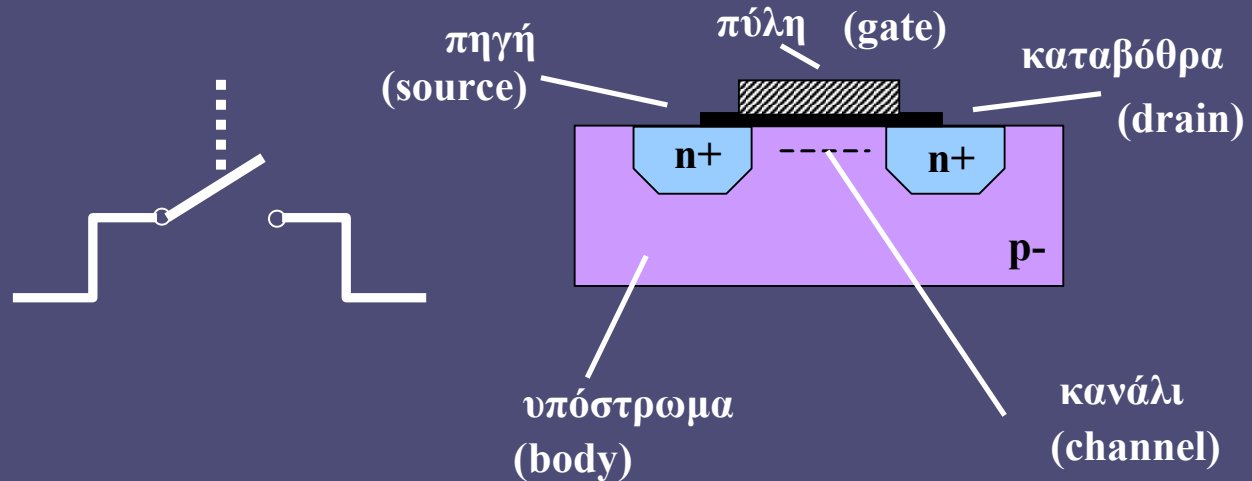


# Γιατί δυαδική τεχνολογία;

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία



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



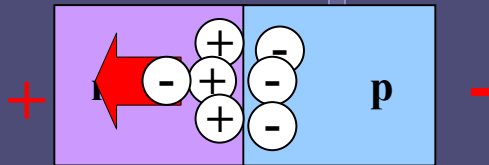
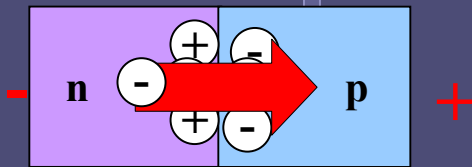
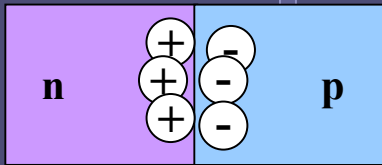
# Ημιαγωγοί – σε δύο διαφάνειες!

- 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!

# Ημιαγωγοί – σε δύο διαφάνειες!

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία



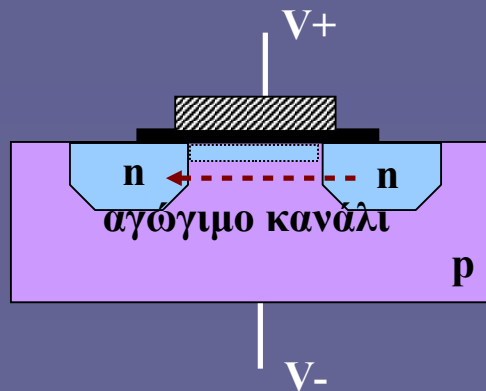
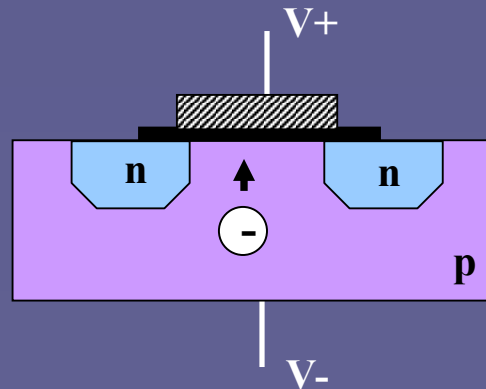
- Το ενδιαφέρον σημείο (επαφής)
  - Όταν ενώνονται ημιαγωγοί n-type και p-type
    - Στο σημείο επαφής: κατάσταση ισορροπίας – μετά από την αρχική μετακίνηση ηλεκτρονίων στο p-type, περαιτέρω ηλεκτρόνια απωθούνται
    - Με ορθή πόλωση, και άλλα ηλεκτρόνια μπορούν να υπερπηδήσουν το εμπόδιο και να φτάσουν 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

# Λειτουργία του τρανζίστορ MOS(FET)

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

**i**

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



# Η συρρίκνωση του τρανζίστορ

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

- Ένας σύγχρονος επεξεργαστής μπορεί να περιέχει από 1 έως 30+ δις τρανζίστορ σε μία επιφάνεια  $280-400\text{mm}^2$  (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:
  - «7nm» (όρος marketing, παλαιότερα συμβόλιζε το εύρος της πύλης του τρανζίστορ)
  - Περίπου 100εκ. τρανζίστορ/ $\text{mm}^2$

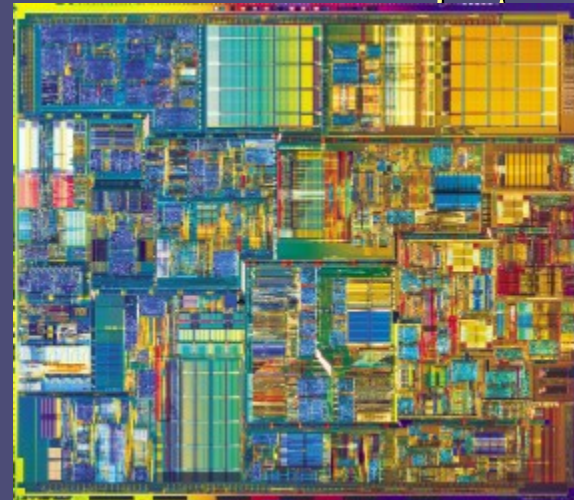
# Το (μικρο)τσιπ

- 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**



- “Νόμος” του Moore (εμπειρικός)
  - ο αριθμός των τρανζίστορ ανά ολοκληρωμένο κύκλωμα διπλασιάζεται κάθε 1,5-2 χρόνια

# Κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία



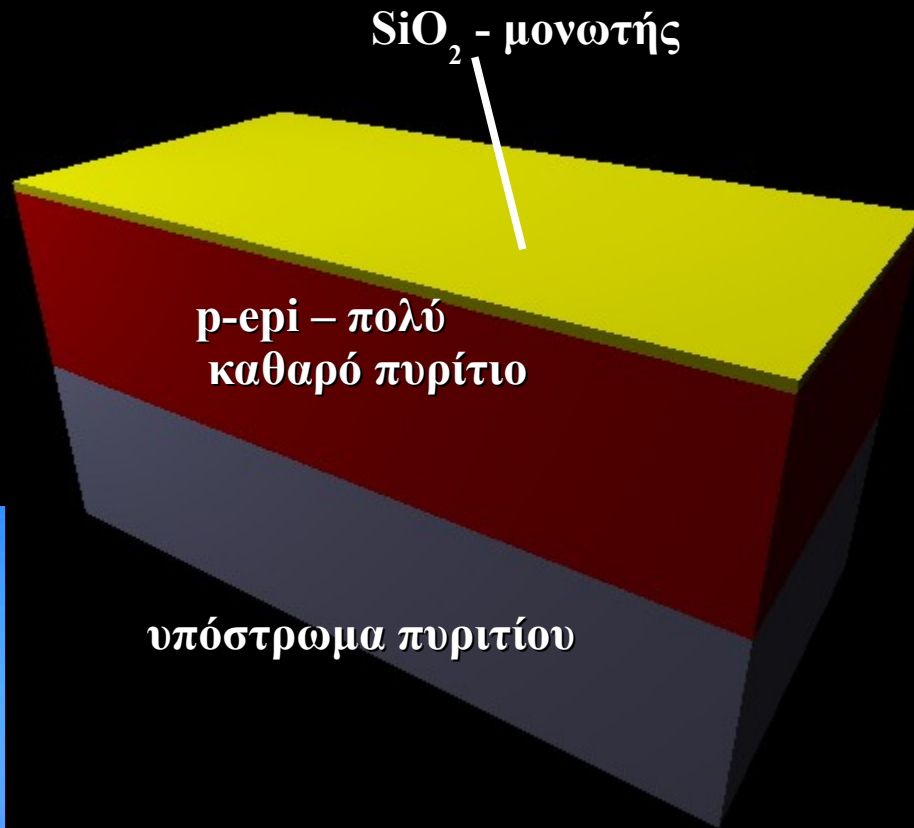
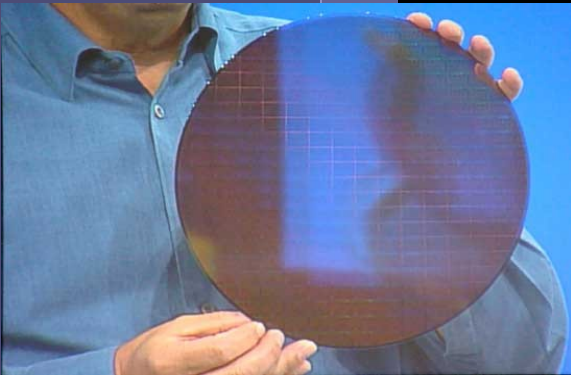
Λόγω της απαιτούμενης ακρίβειας, μια γραμμή παραγωγής κοστίζει δισ. \$

- 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 photresist 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

# Η αρχική επιφάνεια

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

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

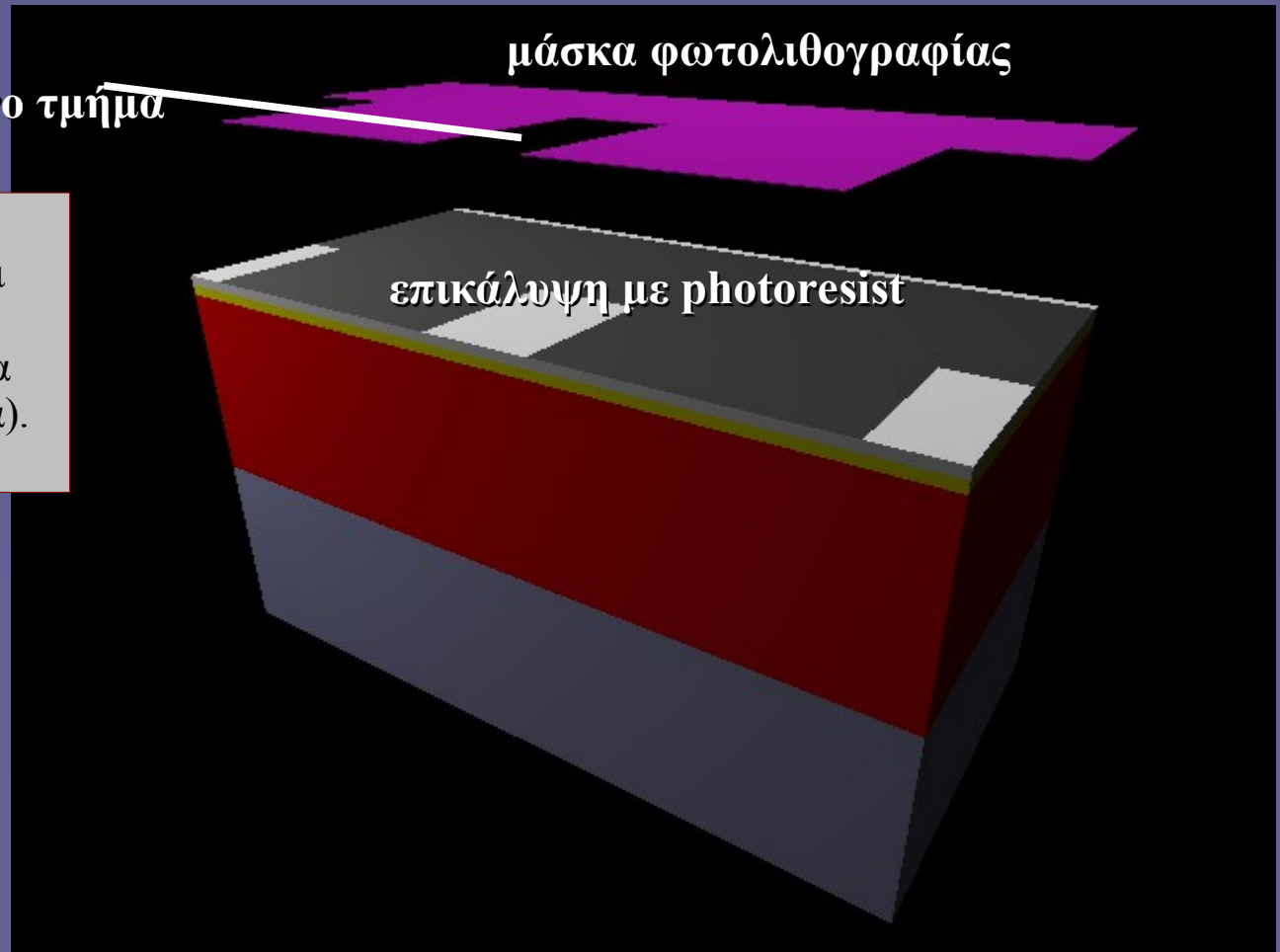


# Εφαρμογή photoresist και μάσκας

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

εκτεθειμένο τμήμα

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

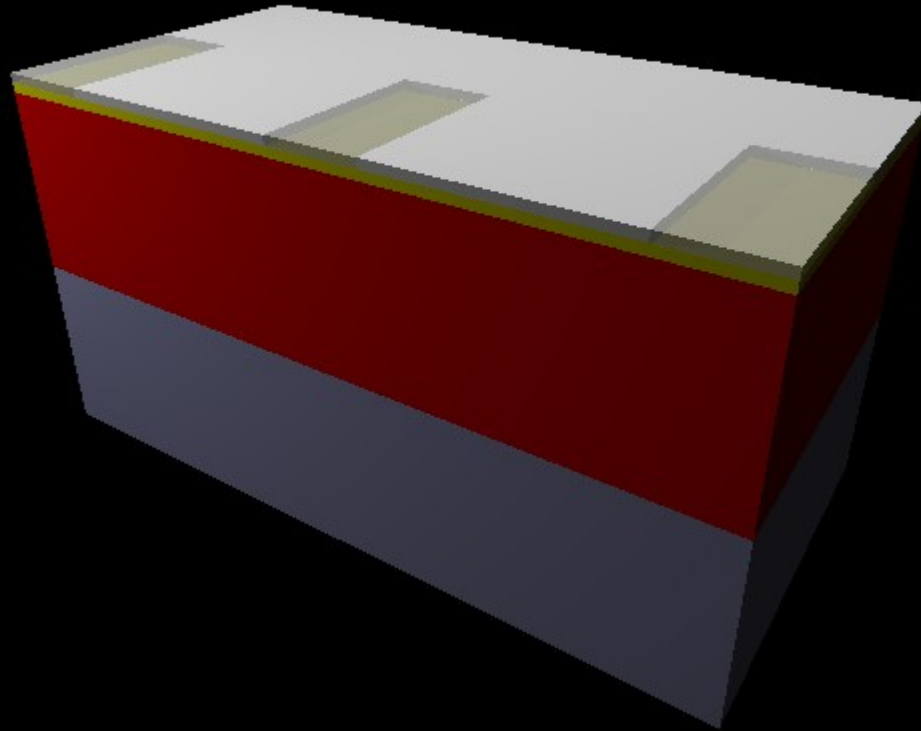




# Εφαρμογή υπεριώδους ακτινοβολίας

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

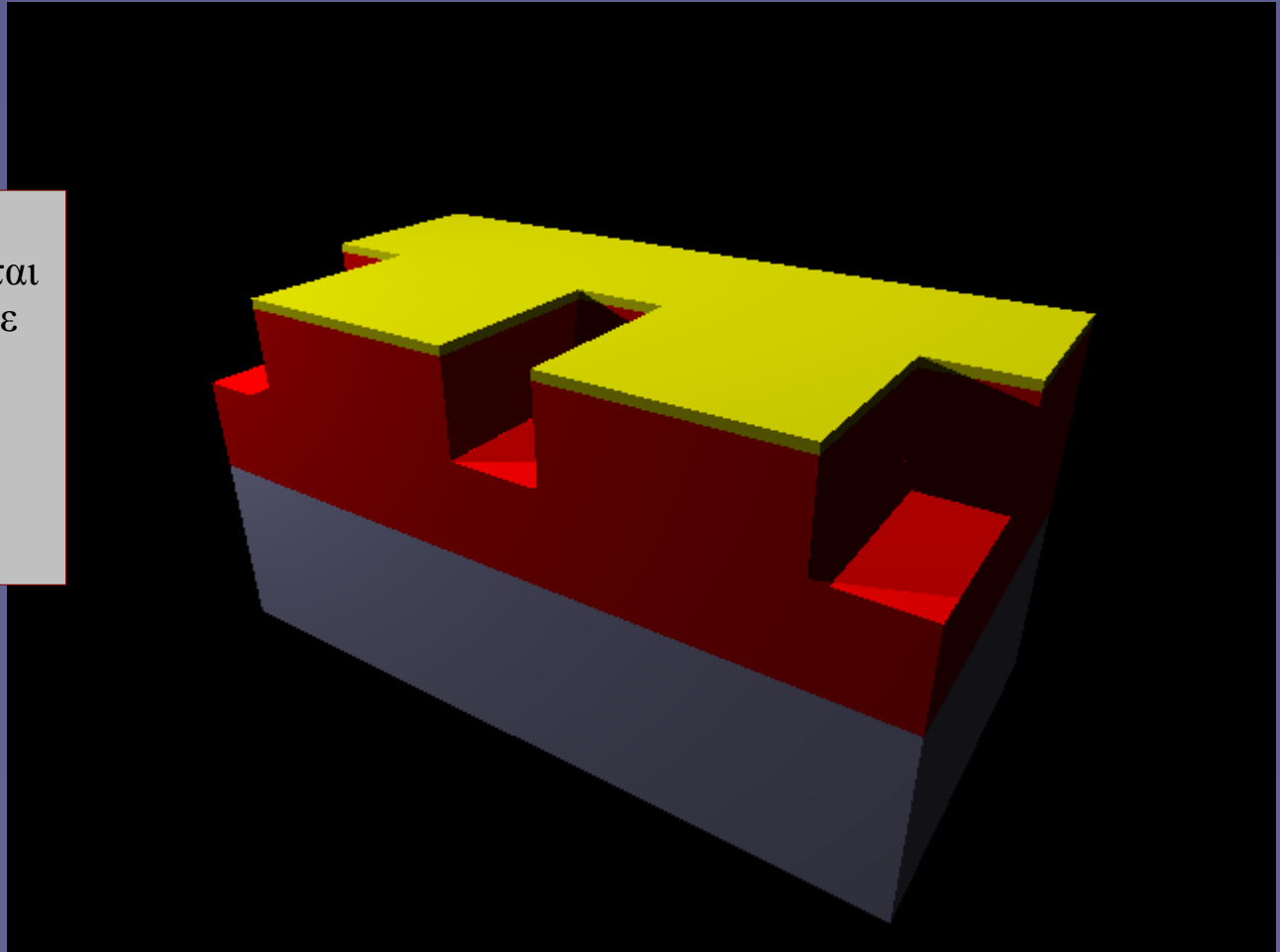
Στα μέρη που μένουν εκτεθειμένα, μετά την υπεριώδη ακτινοβολία το photoresist γίνεται εύπλαστο. Στη συνέχεια αφαιρείται με χημικό τρόπο, αφήνοντας εκτεθειμένα μέρη για το επόμενο βήμα κατεργασίας.



# 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.

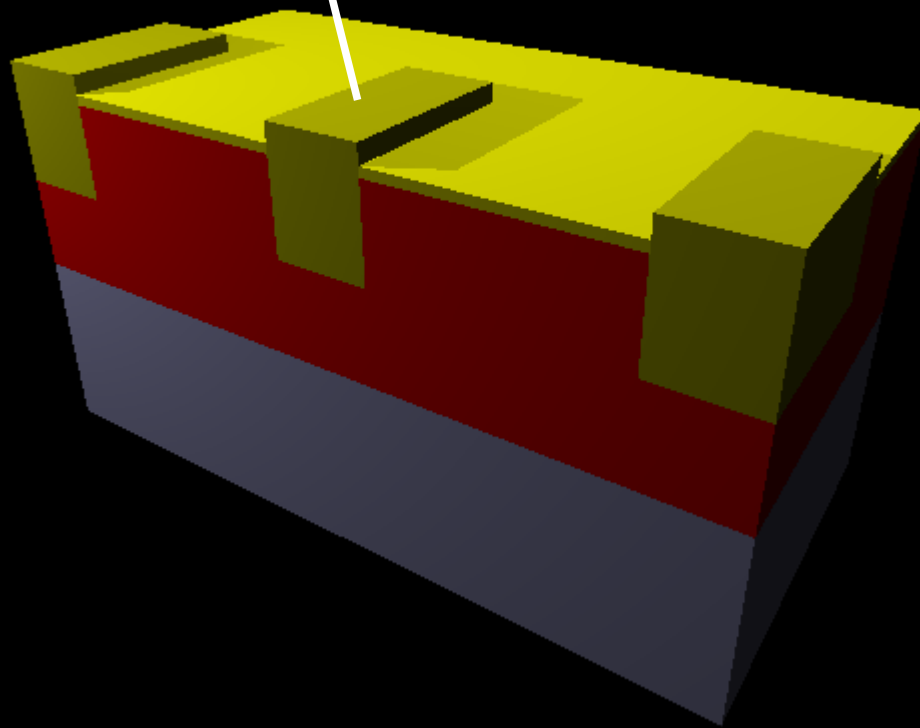


# Απόθεση νέων στρωμάτων $\text{SiO}_2$

- 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.

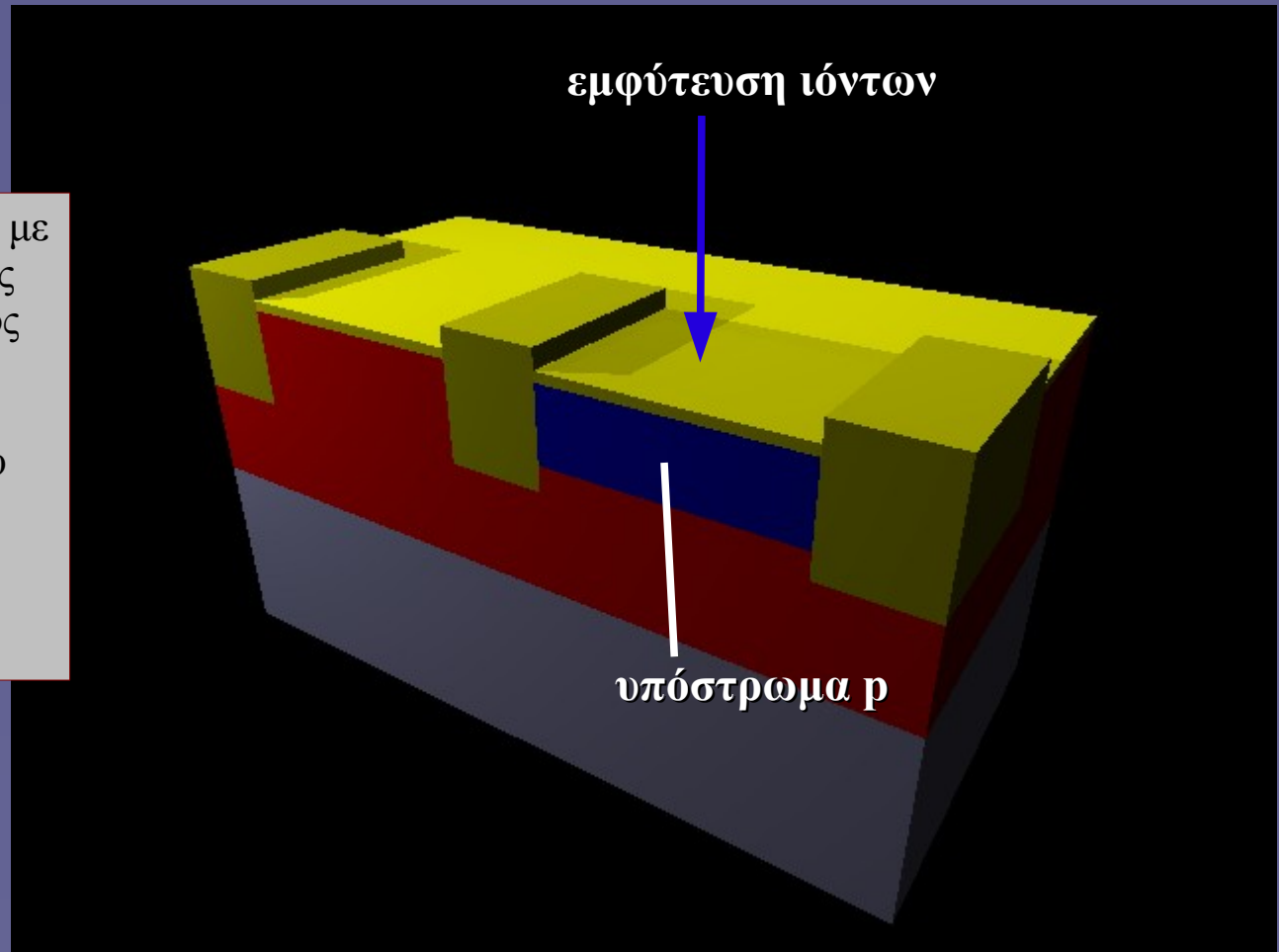
$\text{SiO}_2$  – μονωτής για το  
διαχωρισμό των τρανζίστορ



# Doping – Υπόστρωμα τρανζίστορ

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

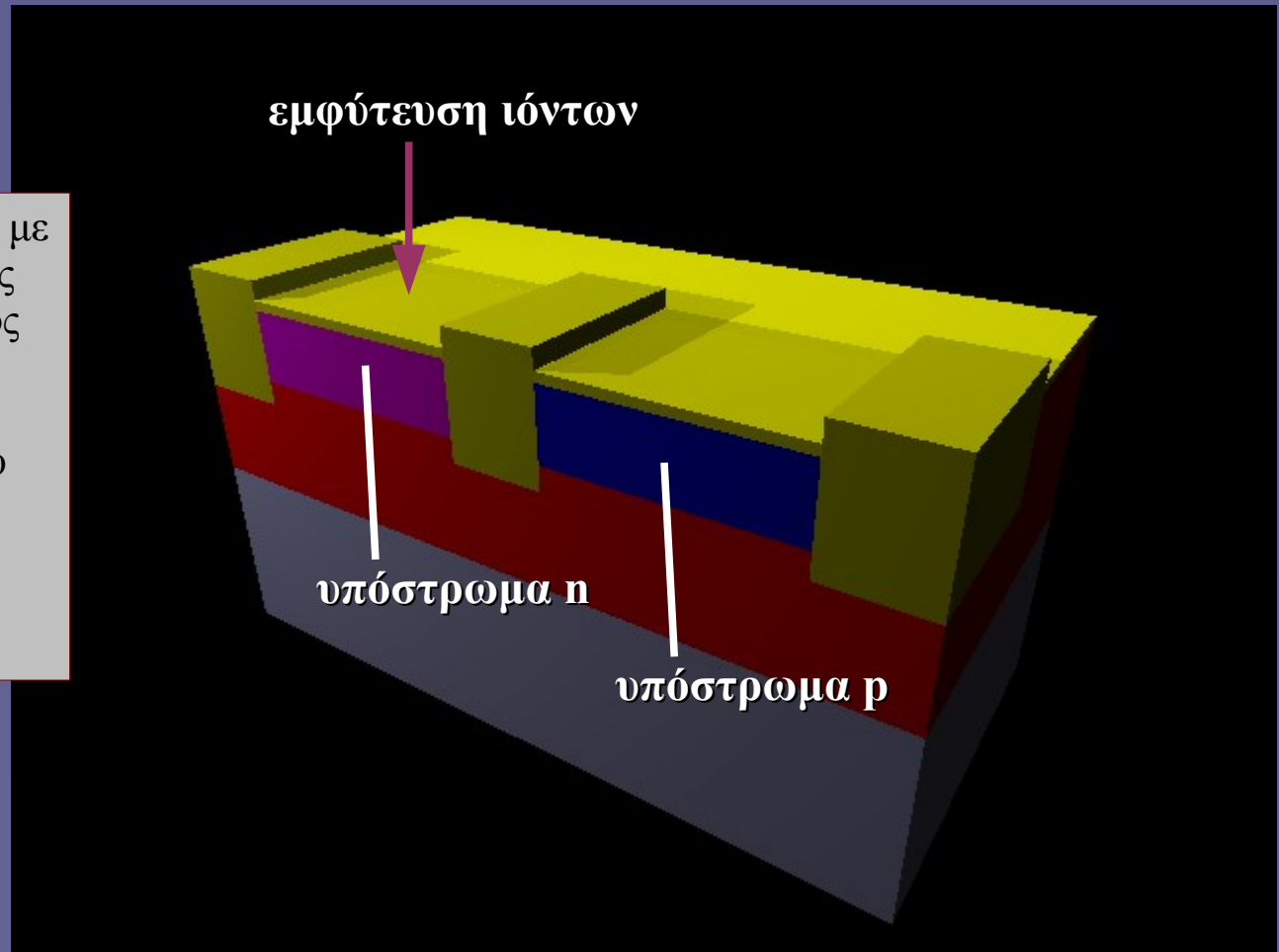
Μέσω της εμφύτευσης με τη βοήθεια μιας δέσμης ιόντων, αλλάζει ο τύπος του ημιαγωγού της περιοχής κάτω από το λεπτό στρώμα οξειδίου σχηματίζοντας το υπόστρωμα των τρανζίστορ NMOS (doping)



# Doping – Υπόστρωμα τρανζίστορ

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

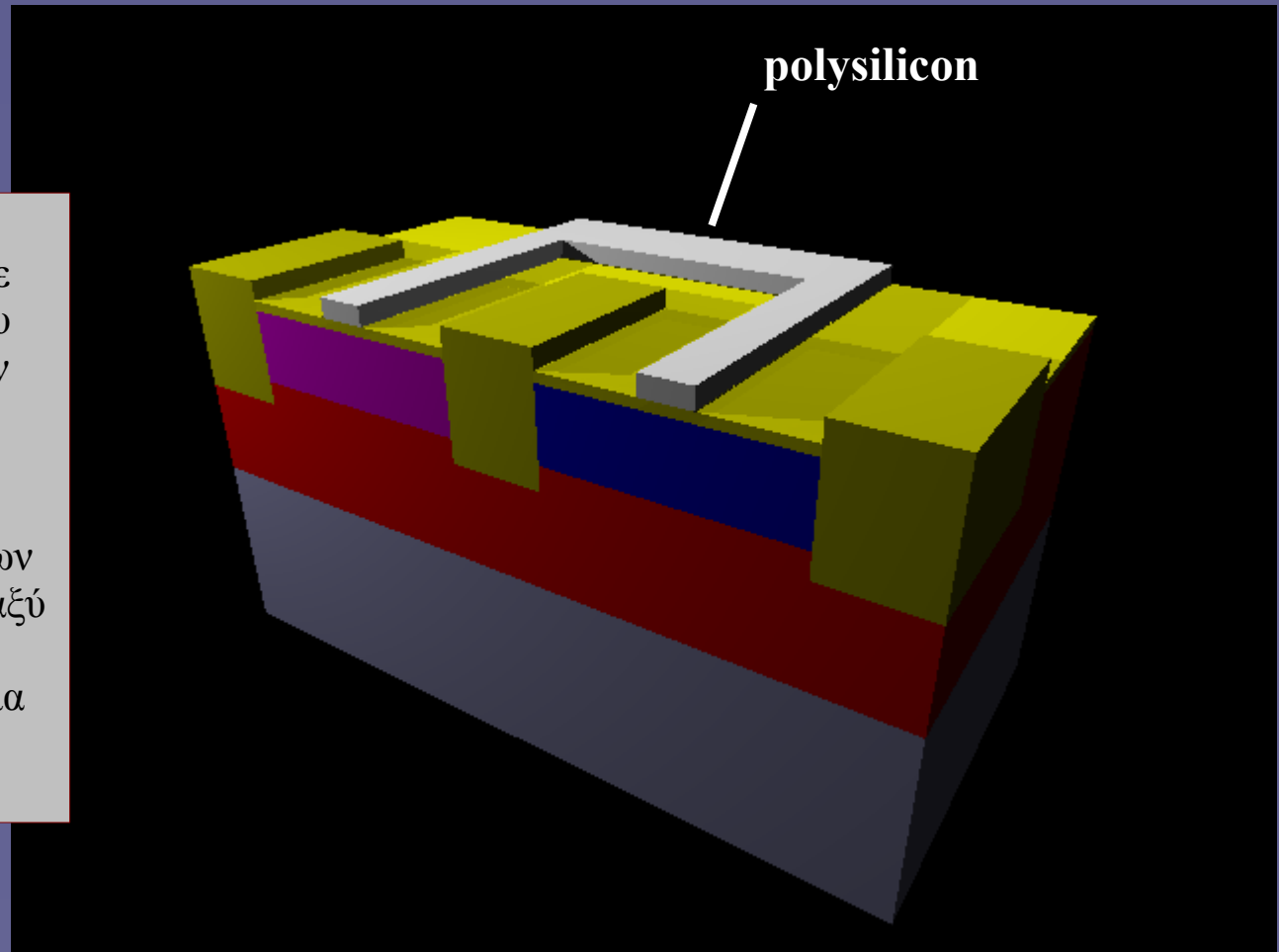
Μέσω της εμφύτευσης με τη βοήθεια μιας δέσμης ιόντων, αλλάζει ο τύπος του ημιαγωγού της περιοχής κάτω από το λεπτό στρώμα οξειδίου σχηματίζοντας το υπόστρωμα των τρανζίστορ PMOS (doping)



# Εναπόθεση polysilicon

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

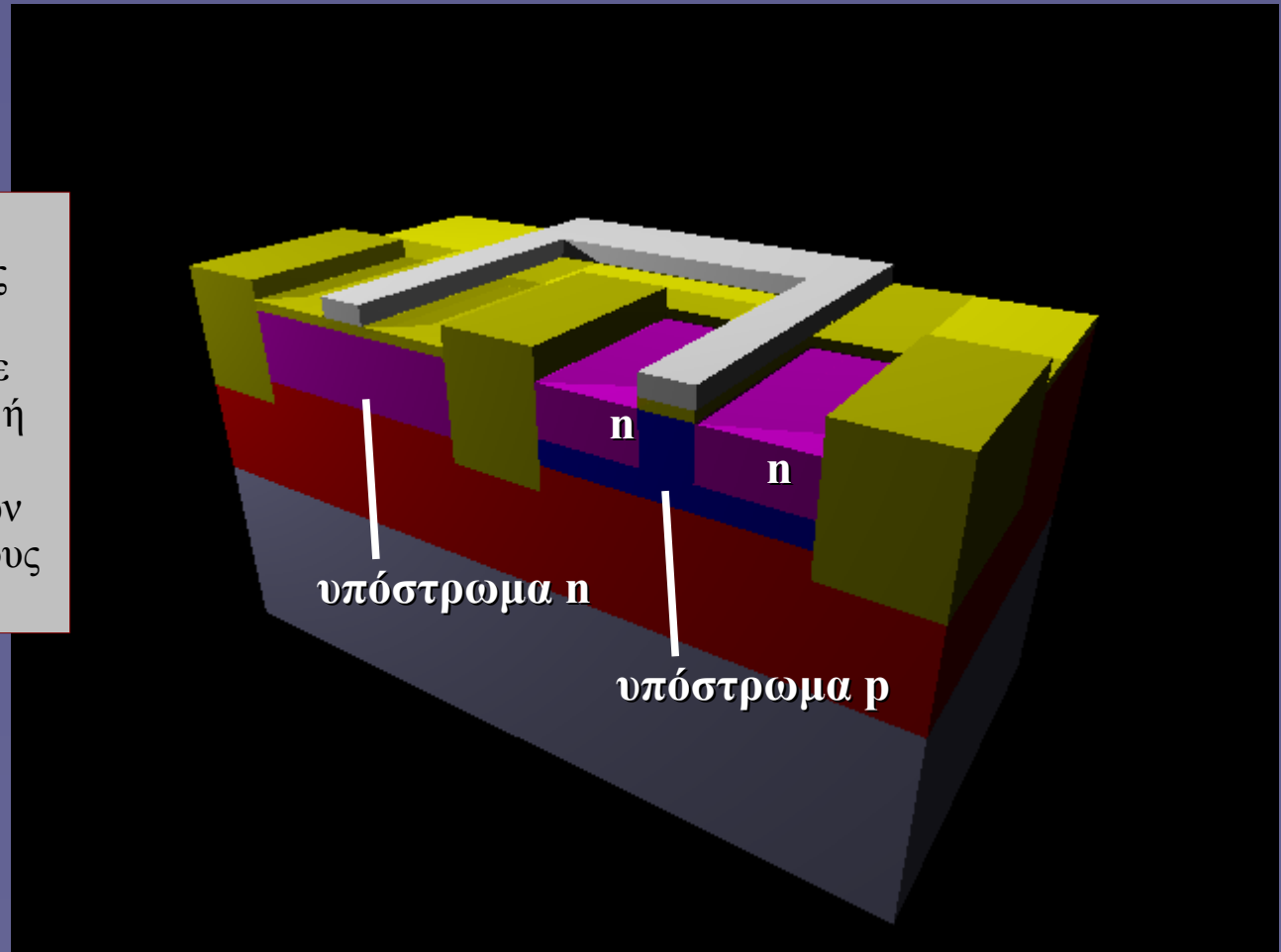
Ένα σχήμα polysilicon εναποτίθεται χημικά με την κυκλοφορία αερίου μίγματος πάνω από την επιφάνεια πυριτίου θερμαινόμενη στους  $650^{\circ}\text{C}$ . Το σχήμα σχηματίζει τις πύλες των τρανζίστορ και τη μεταξύ τους διασύνδεση. Θα ακολουθήσει doping για να αυξηθεί η αγωγιμότητά του.



# Doping πηγής και καταβόθρας τρανζίστορ

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

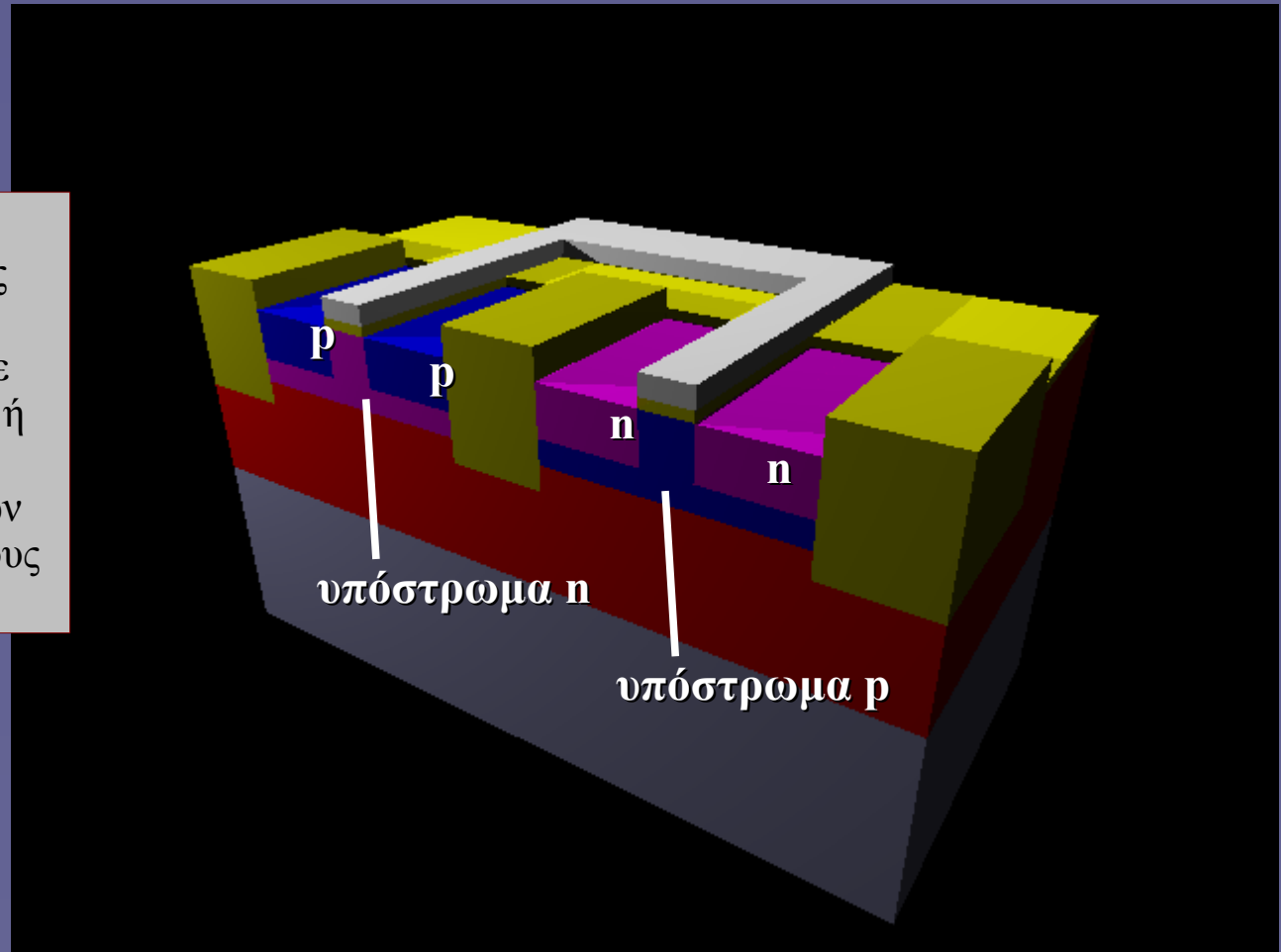
Στη συνέχεια σχηματίζονται οι πηγές και καταβόθρες των τρανζίστορ ανάλογα με τον τύπο τους (NMOS ή PMOS) με εμφύτευση ιόντων. Δημιουργία των σημείων επαφής για τους αγωγούς διασύνδεσης.



# 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.

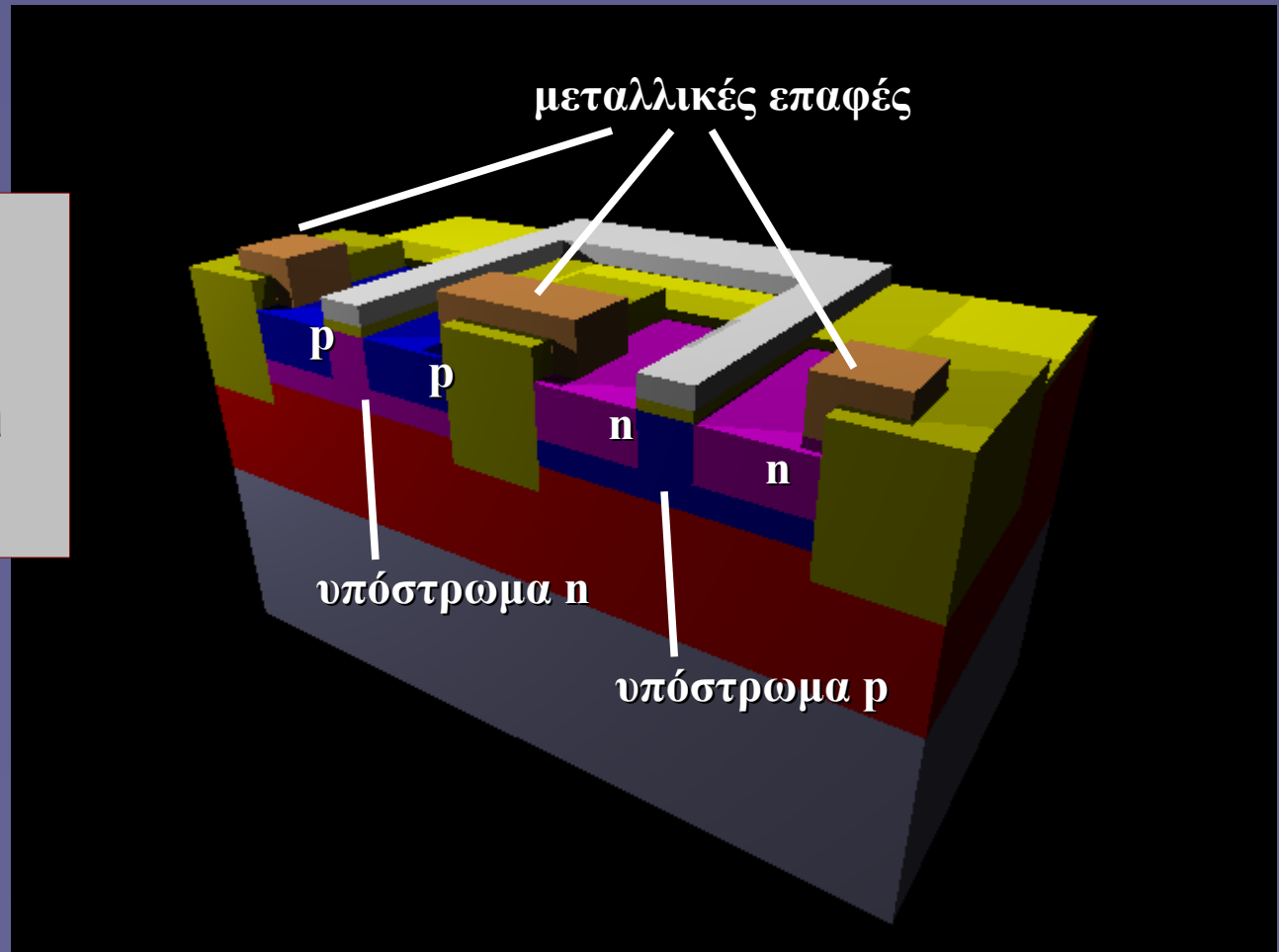




# Πρώτο επίπεδο μεταλικών συνδέσεων

- Εισαγωγή
- Τεχνολογία

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



# 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 πολυπλοκότερες