



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Διεργασίες Παραγωγής Ηλεκτρονικών Υλικών

Ενότητα 1: Εισαγωγή-Ημιαγωγοί-Ολοκληρωμένα  
Κυκλώματα

Δημήτριος Ματαράς  
Πολυτεχνική Σχολή  
Τμήμα Χημικών Μηχανικών

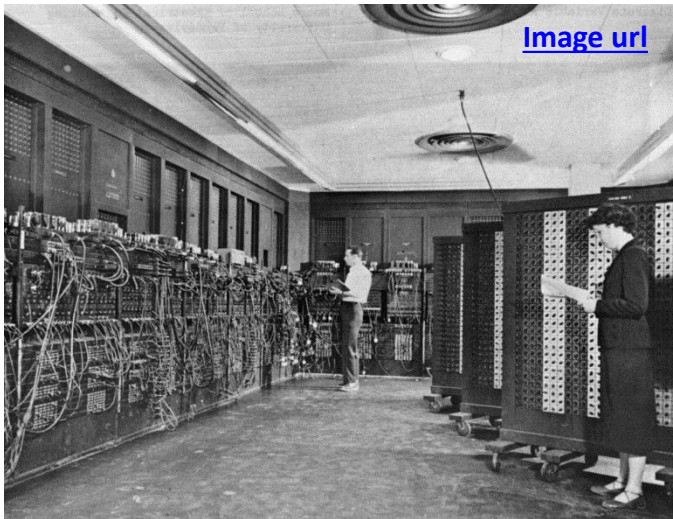
# Λίγη Ιστορία

- 1905 Δίοδος Λυχνία Κενού (J. Ambrose Fleming)
- 1906 Τρίοδος Λυχνία Κενού (Lee DeForest)
- 1916 Μέθοδος Czochralski για την ανάπτυξη μονοκρυστάλλων (Jan Czochralski)
- 1935 Πρώτη πατέντα για field-effect transistor (Oskar Heil)
- 1938 Πρώτες αναφορές ανορθωτών Si (Hans Hollmann, Jürgen Rottgardt)
- 1947 Transistor (Bardeen, Brattain, Shockley)
- 1951 Πρώτο field effect transistor που λειτουργεί
- 1952 Παραγωγή μονοκρυσταλλικού Si
- 1954 Διεργασία λιθογραφίας SiO<sub>2</sub>
- 1958 Πρώτο Ολοκληρωμένο Κύκλωμα Jack Kilby
- 1959 Μέθοδος κατασκευής ΟΚ (Noyce and Moore)
- 1960 Πρώτο Metal-Oxide-Silicon transistor
- 1960 Πρώτη πατέντα Light Emitting Diode (J.W. Allen and P.E. Gibbons)
- 1962 Transistor-transistor logic
- 1962 Πρώτο LED σε λειτουργία
- 1962 Πρώτο laser diode
- 1968 Μνήμες Metal-Oxide-Semiconductor
- 1971 Πρώτος Μικροπεξεργαστής
- 1978 Πρώτο laser diode συνεχούς λειτουργίας σε θερμοκρασία δωματίου
- 1987 Polymer LED's
- 1997 Εισαγωγή διασυνδέσεων Χαλκού

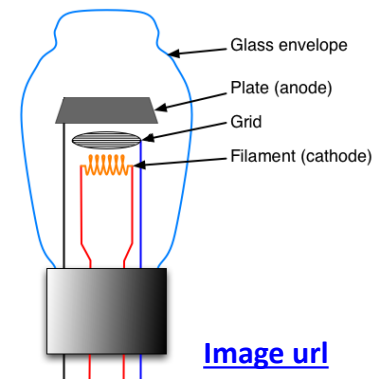


# Λίγη Ιστορία

- 1906 – Lee DeForest: λυχνία κενού
  - Ραδιόφωνο
  - Τηλεόραση
- 1947 – ENIAC:



- Βάρος: 30 τόνοι
- 18000 λυχνίες
- 70000 αντιστάσεις
- 10000 πυκνωτές
- 6000 διακόπτες
- 150000 Watt
- 400000 \$ (1940)



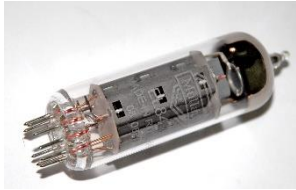
# Λίγη Ιστορία

- **1947** J. Bardeen, W. Brattin, W. Shockley, AT&T Bell: τρανζίστορ (Nobel 1956)
- **1952** Dummer: “Φαίνεται τώρα πιθανή η δυνατότητα κατασκευής ηλεκτρονικών συσκευών σε ένα κομμάτι στερεού χωρίς την χρήση συνδετήριων συρμάτων”
- **1958** Jack Kilby – Texas Instruments: Ολοκληρωμένο κύκλωμα (5 στοιχεία: τρανζίστορ, δίοδοι, πυκνωτές σε GaAs)
  - Robert Noyce (Fairchild Camera): planar technology – εξαχνωση αλουμινίου
- **1964** Gordon Moore (Intel): διπλασιασμός της πυκνότητας στοιχείων του ΟΚ ανά 18 μήνες.



# Λίγη Ιστορία

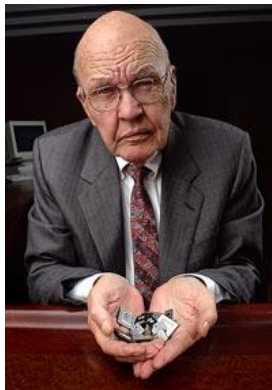
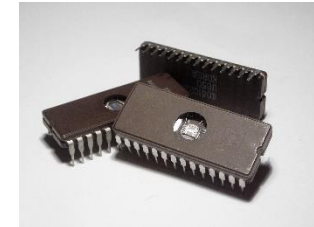
[Image url](#)



[Image url](#)



[Image url](#)



[Image url](#)

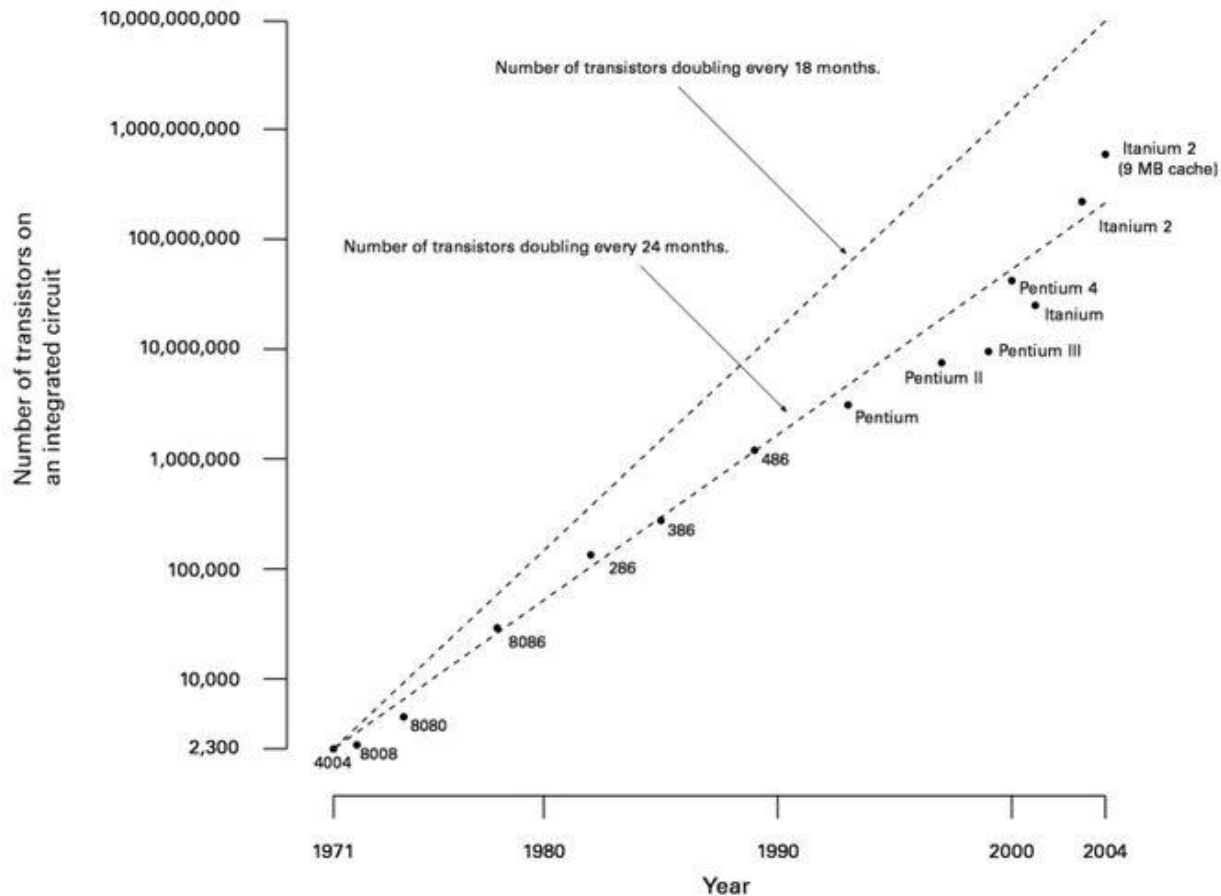


[Image url](#)

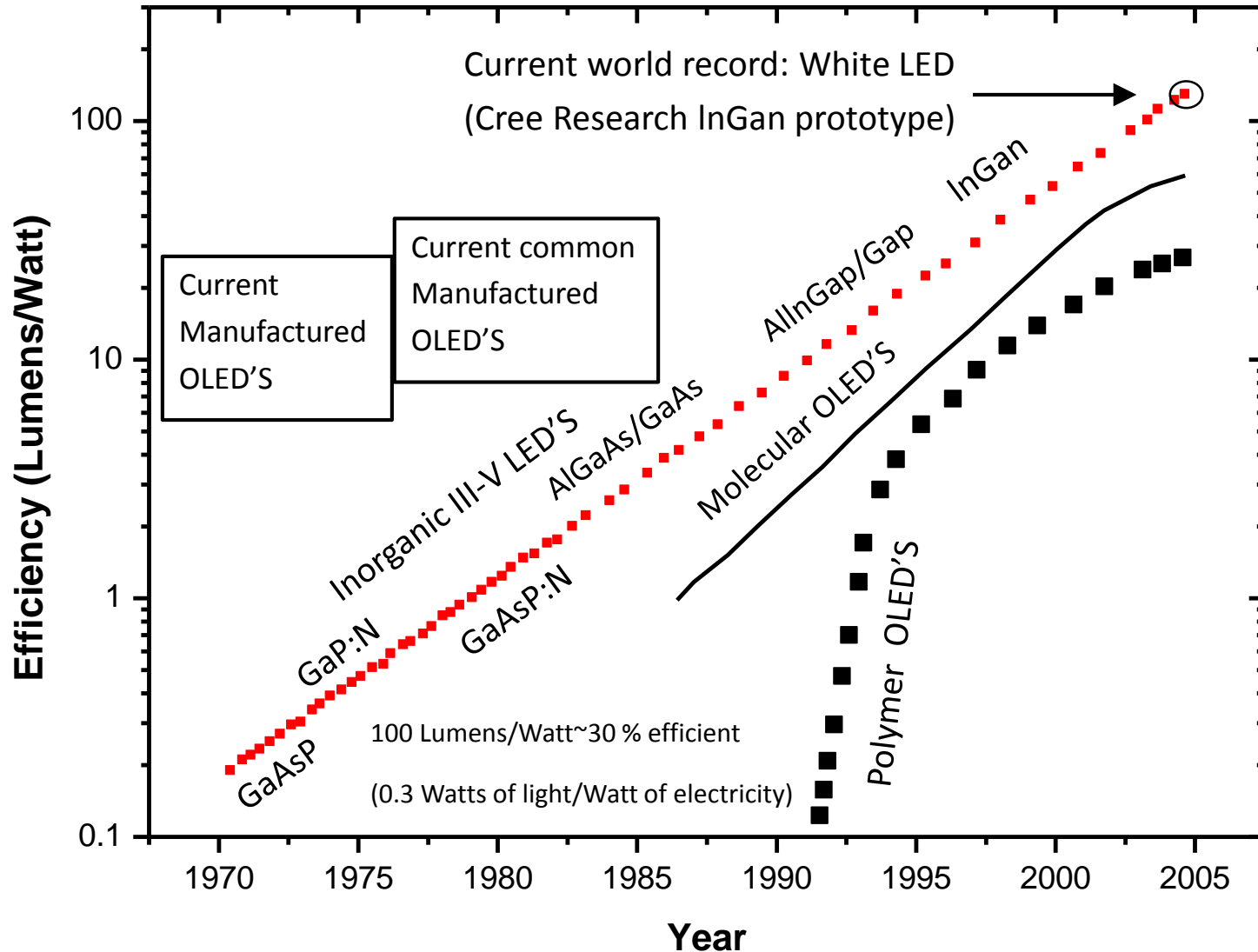
# Λίγη Ιστορία

## Moore's Law

[Image url](#)



# Λίγη Ιστορία



# Ηλεκτρονικά Υλικά

		Dopant		Data Storage		Superconductors											
H																	He
Li	Be										B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg										Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac															
			Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lw	



# Το Ολοκληρωμένο Κύκλωμα (ΟΚ)

- Συλλογή ηλεκτρονικών κυκλωμάτων που δημιουργούνται με την ταυτόχρονη διαμόρφωση όλων των ενεργών ιδιοσκευών (δίοδοι, τρανζίστορ, αντιστάσεις, συνδέσεις) σε ένα κομμάτι ημιαγωγού
- Είδη ΟΚ ανάλογα με την λειτουργία:
  - Αναλογικά ΟΚ: ενισχυτές, ταλαντωτές, ρυθμιστές
  - Ψηφιακά ΟΚ: μικροεπεξεργαστές, μνήμες
- Είδη ΟΚ ανάλογα με το υλικό:
  - Μονολιθικά
  - Υβριδικά
- Κλίμακα ολοκλήρωσης:
  - SSI->VLSI->ULSI
- Τεχνολογία ενεργών ιδιοσκευών:
  - Si
    - BJT
    - MOS->MOSFET
  - GaAs
    - MES->MESFET

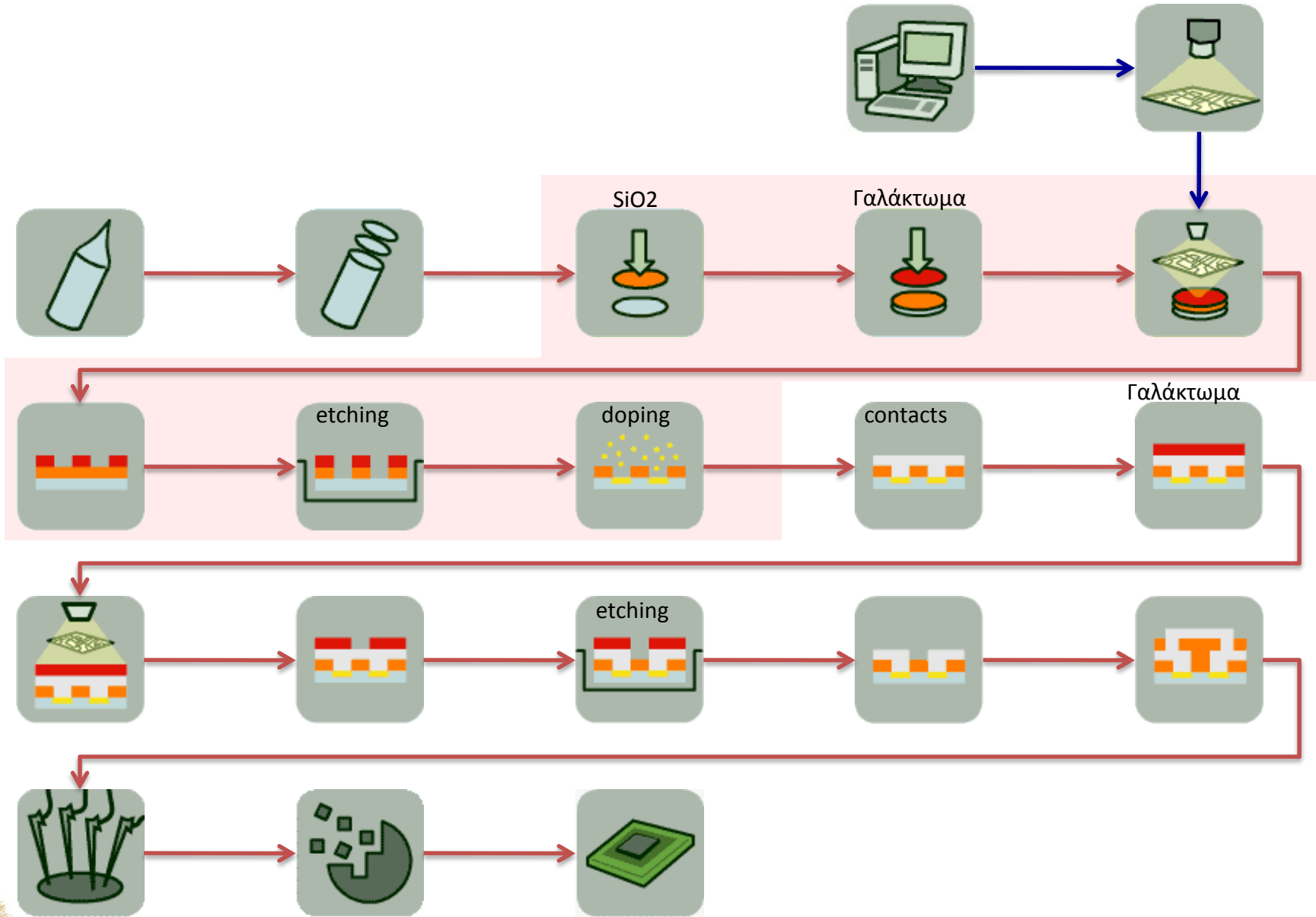


# Τα Στάδια Παραγωγής ΟΚ

- Από την άμμο στο Πυρίτιο:
  - Άμμος -> MGS -> Αέριο -> EGS
- Από το πυρίτιο στους δίσκους (wafers):
  - EGS -> Czochralski -> Wafers
- Από τους δίσκους στα ΟΚ:
  - Wafers ->
    - FEOL: transistors etc
    - BEOL: σύνδεση στοιχείων (wiring)
- Packaging:
  - Διαχωρισμός ΟΚ- Προστασία ΟΚ

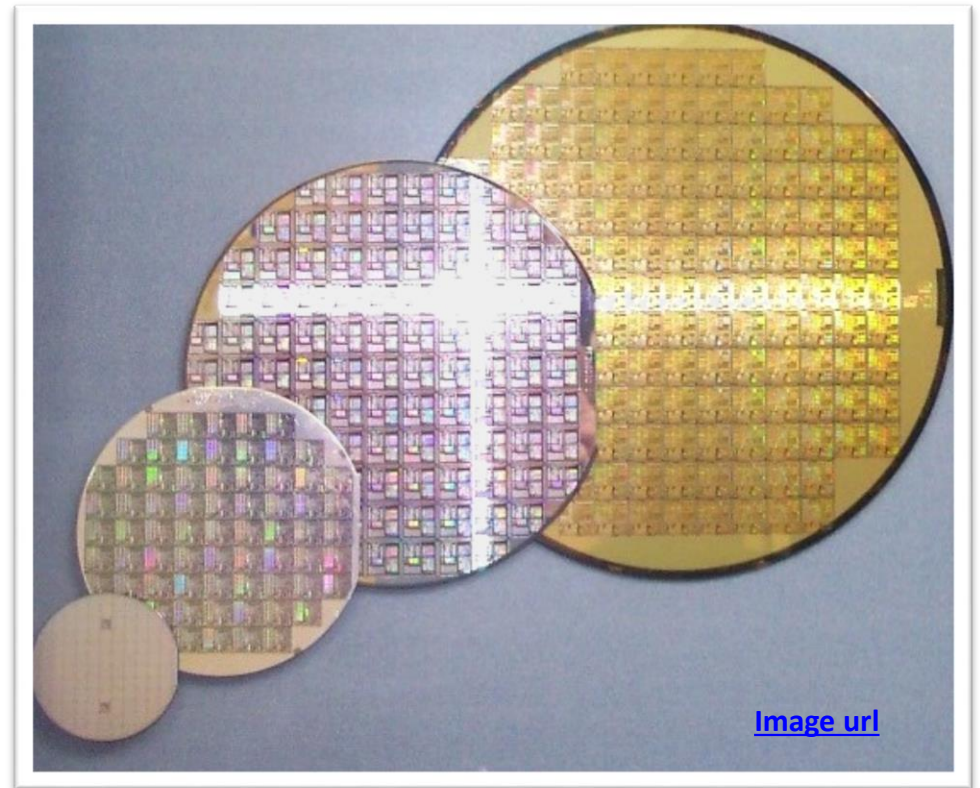


# Στάδια Παραγωγής ΟΚ



# Υλικά για ΟΚ

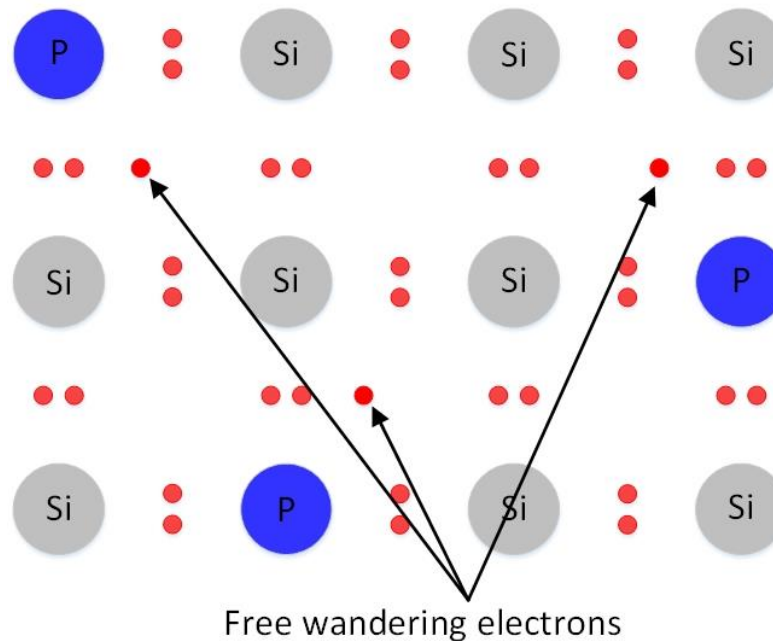
- Αγωγοί:
  - Cu, Au, Ag, Al....
- Μονωτές: SiO<sub>x</sub>
  - Διηλεκτρικά
  - Πυκνωτές
- Ημιαγωγοί



# Ημιαγωγοί

- Οι ημιαγωγοί συμπεριφέρονται σαν μονωτές εκτός αν διεγερθούν θερμικά ή οπτικά.

Silicon (Si) doped with Phosphorus (P)



# Ημιαγωγοί

- Ημιαγωγοί:
  - Στοιχεία
  - Ενώσεις
- Εμπλουτισμός:
  - Ενδογενείς (μονωτές-αγωγοί)
  - Εξωγενείς (εμπλουτισμένοι)
- Φορείς φορτίου:
  - Ηλεκτρόνια
  - Οπές
- Αγωγοί-Μονωτές
- Διέγερση
  - Θερμική
  - Οπτική
- Ενεργειακό χάσμα
- Εμπλουτισμός:
  - Τύπου n
  - Τύπου p
- Φορείς φορτίου:
  - Πλειονότητας
  - Μειονότητας



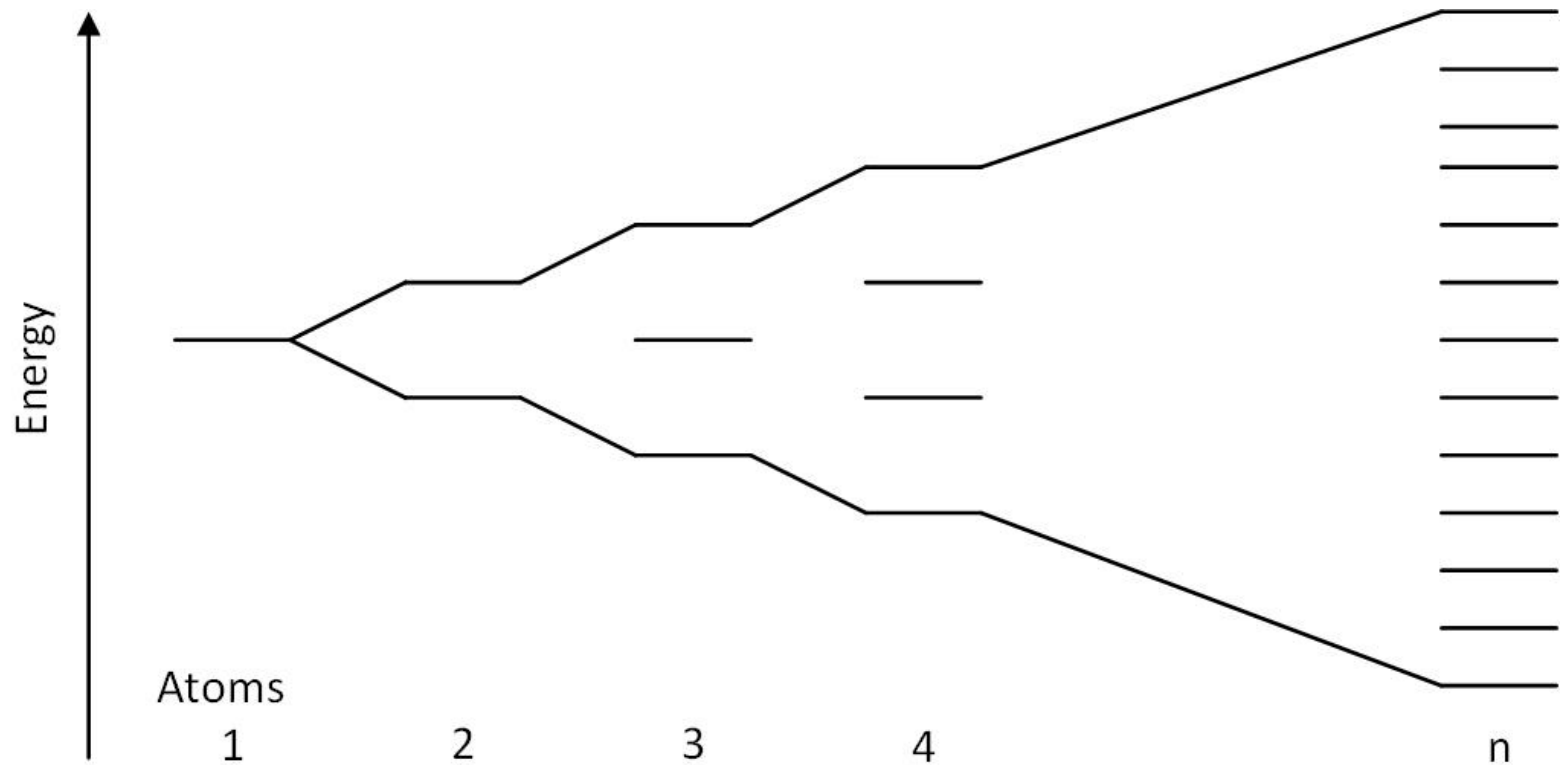
# Ημιαγωγοί

Periodic table and semiconductors					
	Group IIB	Group IIIA	Group IV A	Group VA	Group VIA
1					
1s					
2		5	6 C		
2s2p		B	14		
3		13	Si	15	16
3s3p		Al	32	P	S
4	30	31	Ge	33	34
4s3d4p	Zn	Ga	50	As	Se
5	48	39	Sn	51	52
5s4d5p	Cd	Ln		Sb	Te
Element	IV compound	III-V compound	II-VI compound	V-VI compound	
Si(1.1+)	SiC (2.86 for $\alpha$ structure)	AlP(2.85), GaP(2.26), InP(1.28)	ZnS(3.6), CdS(2.42)	PbS(0.37), PbSe (0.27), PbTe (0.29)	
Ge(0.67)		AlAs(2.16), GaAs(1.43), AlSb(1.6), GaSb(0.7), InSb(0.18)	ZnSe(2.7), CdSe(1.73), ZnTe(2.25), CdTe(1.58)		

+ Energy gap in electronvolts (eV)

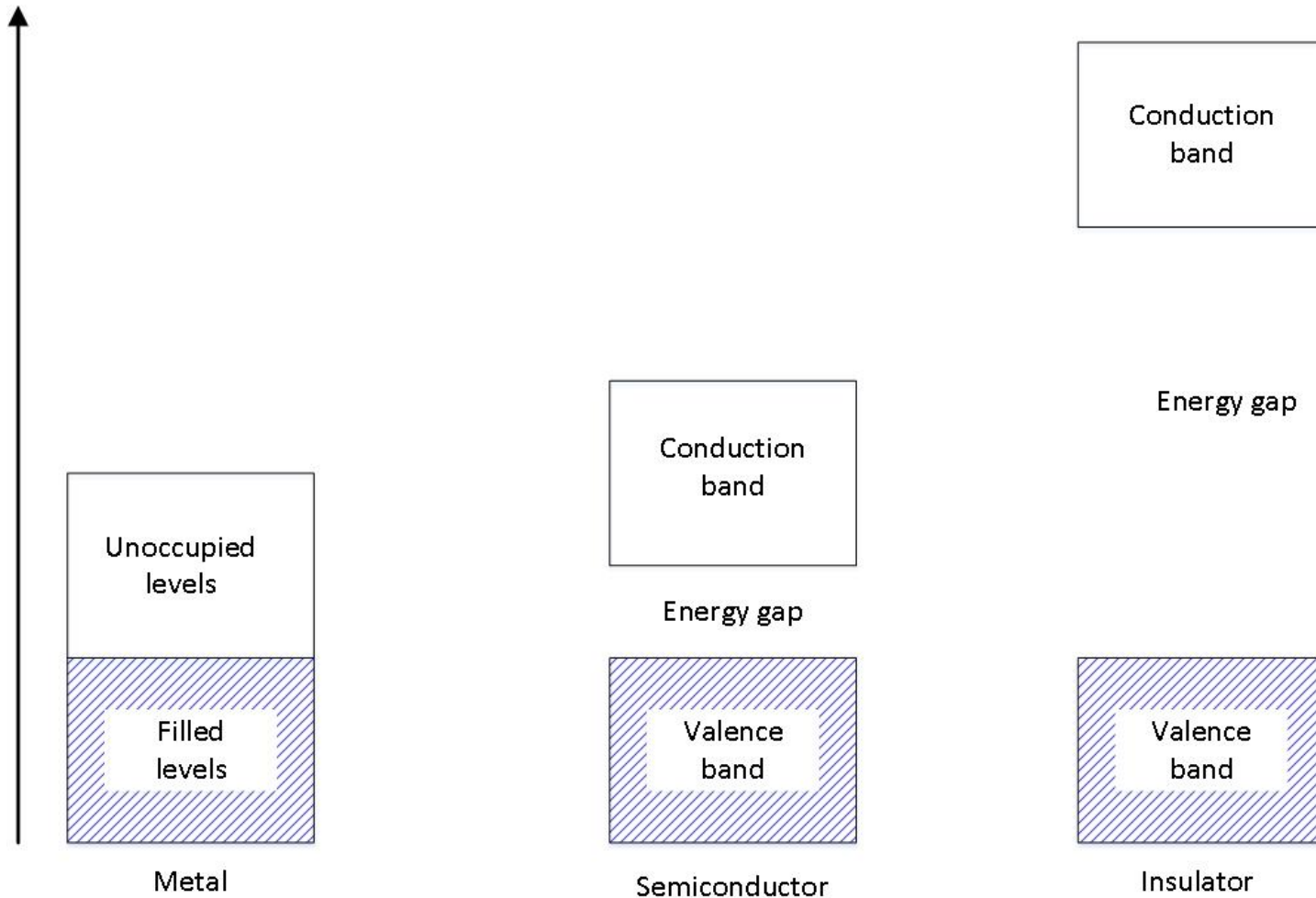


# Ημιαγωγοί





# Ζώνες



# Βασικές Σχέσεις 2

- Ενδογενείς ημιαγωγοί:  $n = p = n_i$  (1)

- $n$  [ $\text{cm}^{-3}$ ]  $e^-$  στην ζώνη αγωγιμότητας

- $p$  [ $\text{cm}^{-3}$ ] οπές στην ζώνη σθένους

- $n_i$  [ $\text{cm}^{-3}$ ] ενδογενείς φορείς φορτίου

- Εμπλουτισμένοι ημιαγωγοί:  $p + N_D = n + N_A$  (2)

- $N_D$  συγκέντρωση δοτών

- $N_A$  συγκέντρωση δεκτών

Σχέση ουδετερότητας χώρου-φορτίου

- Γενικά σε όλους τους ημιαγωγούς:  $p \cdot n = n_i^2$  (3)

Αντικαθιστούμε την (3) στην (2) και λύνουμε ως προς  $n \rightarrow$



# Βασικές Σχέσεις 1

- Ημιαγωγοί τύπου n: 
$$n_n = \frac{1}{2} \left\{ N_D - N_A + [(N_D - N_A)^2 + 4n_i^2]^{1/2} \right\} \quad (4)$$

- Ημιαγωγοί τύπου p: 
$$p_p = \frac{1}{2} \left\{ N_A - N_D + [(N_A - N_D)^2 + 4n_i^2]^{1/2} \right\} \quad (5)$$

$$|N_D - N_A| \gg n_i = 1.45 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3} \text{ στους } 27^\circ\text{C}$$

- Επειδή: όμως

$$p_p \cong N_A - N_D \quad (6)$$

$$n_n \cong N_D - N_A \quad (7)$$



# Βασικές Σχέσεις 3

- Φορείς μειονότητας

- (4),(5)->(3):

- Ημιαγωγοί τύπου n:

$$p_n \cong \frac{n_i^2}{N_D - N_A} \quad (8)$$

- Ημιαγωγοί τύπου p:

$$n_p \cong \frac{n_i^2}{N_A - N_D} \quad (9)$$



# Βασικές σχέσεις:

## παράδειγμα 1

Δίσκος πυριτίου εμπλουτίζεται με  $10^{16}$  άτομα Βορίου. Αν η συγκέντρωση ενδογενών φορέων φορτίου είναι  $1.45 \times 10^{10} \text{ cm}^{-3}$  στους  $27^\circ\text{C}$ , να υπολογίσετε τις συγκεντρώσεις φορέων πλειονότητας και μειονότητας.

$$N_A = 10^{16} \quad N_D = 0$$
$$p_p = \frac{1}{2} \left\{ 10^{16} + \left[ \left( 10^{16} \right)^2 + 4 \left( 1.45 \times 10^{10} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\} = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$$

$$n_p = \frac{\left( 1.45 \times 10^{10} \right)^2}{10^{16}} = 2.1 \times 10^4 \text{ cm}^{-3}$$



# Συνάρτηση Fermi-Dirac

- Η πιθανότητα να είναι κατειλημμένη από ένα ηλεκτρόνιο μια στάθμη ενέργειας  $E$  είναι:

$$f(E) = \frac{1}{1 + e^{\frac{(E - E_f)}{kT}}} \quad (10)$$

–  $E_f$  – η ενέργεια του επιπέδου Fermi

–  $T$  – θερμοκρασία

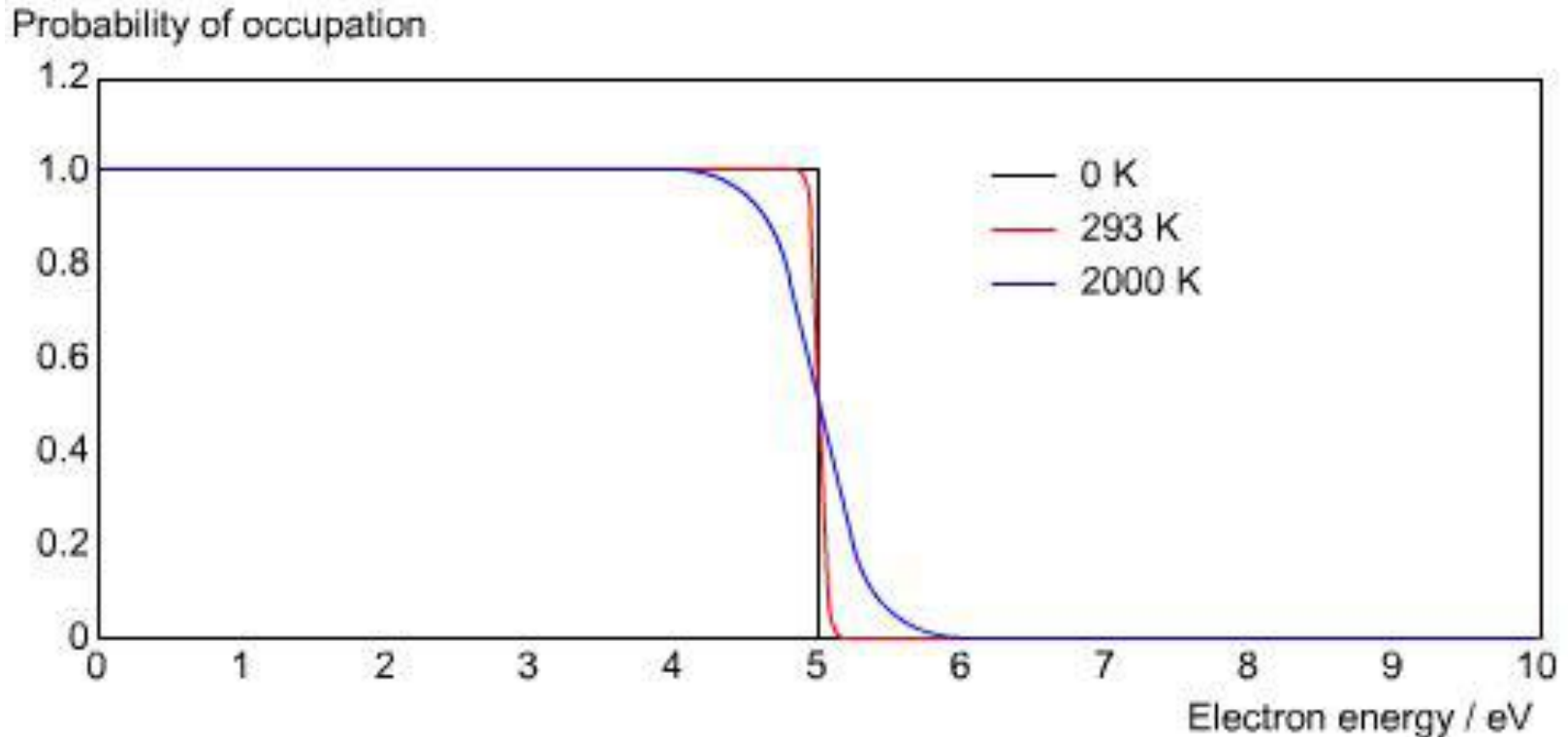
–  $k$  – σταθερά Boltzmann

$$k = 8.62 \times 10^{-5} \text{ eV/K}$$

$$\text{ή } 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$$



# Συνάρτηση Fermi-Dirac



Fermi-Dirac distribution for several temperatures

[Image url](#)



# Συνάρτηση Fermi-Dirac

- Το επίπεδο Fermi αντιπροσωπεύει ουσιαστικά το χημικό δυναμικό των ηλεκτρονίων σε ένα στερεό
- Ή το επίπεδο ενέργειας η πιθανότητα του οποίου να είναι κατειλημένο από ένα ηλεκτρόνιο είναι ακριβώς  $\frac{1}{2}$ .
- Αν το πλήθος των ενεργειακών καταστάσεων στην ΖΑ και στη ΖΣ είναι το ίδιο και το πλήθος των ηλεκτρονίων στην ΖΑ το ίδιο με των οπών στην ΖΣ, τότε το επίπεδο Fermi θα είναι ακριβώς στη μέση του ενεργειακού χάσματος του ημιαγωγού.
- Σε ένα ενδογενή ημιαγωγό το  $E_f$  συμβολίζεται με  $E_i$





# Συνάρτηση Fermi-Dirac

- Ο πιθανός αριθμός ηλεκτρονίων που έχουν μια συγκεκριμένη ενέργεια υπολογίζεται από την συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας  $N(E)$ .
- Πυκνότητα καταστάσεων: το πλήθος ενεργειακών καταστάσεων ανά μονάδα όγκου. Στο εύρος  $dE$  είναι  $N(E)dE$ .
- Η πυκνότητα ηλεκτρονίων στην Ζώνη Αγωγιμότητας είναι:

$$n = \int_{E_c}^{\infty} f(E) N(E) dE \quad (11)$$

- Ουσιαστικά:  $n = N_c f(E_c)$  (12)

$$\text{όπου } N_c = \left( \frac{2\pi m_n^* kT}{h^2} \right)^{3/2} = 2.8 \times 10^{19} (T / 300)^{3/2} \text{ cm}^{-3} \quad (13)$$



# Συνάρτηση Fermi-Dirac

- Η ουσιαστική πυκνότητα καταστάσεων μπορεί να γραφεί:

$$f(E_c) = \frac{1}{1 + e^{(E_c - E_F)/kT}} = e^{-(E_c - E_F)/kT} \quad (14)$$

όπου  $(E_c - E_F) \gg kT$  ( $kT = 0.026$  eV)

η εξίσωση 12 γίνεται:

$$n = N_c e^{-(E_c - E_F)/kT} \quad (15)$$

και παρόμοια:

$$p = N_v e^{-(E_F - E_v)/kT} \quad (16)$$

$$N_v = \left( \frac{2\pi m_p^* kT}{h^2} \right)^{3/2} = 1.04 \times 10^{19} (T/300)^{3/2} \text{ cm}^{-3} \quad (13)$$



# Βασικές σχέσεις:

## παράδειγμα 2

Να δειχθεί ότι ισχύει η σχέση  $p \cdot n = n_i^2$  για όλους του ημιαγωγούς

$$n_i = N_c e^{-(E_c - E_i)/kT}$$

$$p_i = N_v e^{-(E_i - E_v)/kT}$$

$$n_i \cdot p_i = N_c e^{-(E_c - E_i)/kT} N_v e^{-(E_i - E_v)/kT} = N_c N_v e^{-(E_c - E_v)/kT} = N_c N_v e^{-E_g/kT}$$

*αλλά  $n_i \cdot p_i = n_i^2$  και  $N_c, N_v, E_g$  δεν αλλάζουν*

$$n \cdot p = n_i \cdot p_i = n_i^2 = N_c N_v e^{-E_g/kT}$$



# Ροή ρεύματος

- Το ρεύμα ρέει στην αντίθετη φορά από τα ηλεκτρόνια (μαζί με τις οπές).
- Το ρεύμα που οφείλεται στα ηλεκτρόνια σε μια διεύθυνση είναι ίσο με την μέση ταχύτητα του σμήνους  $\bar{v}_n$  επί την ηλεκτρική συγκέντρωση  $-qn$

$$J_n = -qn\bar{v}_n \text{ [A/cm}^2\text{]} \quad (18)$$

- Γενικότερα, για ανομοιομορφη κατανομή φορτίων:

$$J_n = -qn\bar{v}_n - D_n(-q)\frac{dn}{dx} \text{ [A/cm}^2\text{]} \quad (19)$$

- Η ταχύτητα μετατόπισης του σμήνους είναι:

$$\bar{v}_n \text{ [cm/s]} = \mu \cdot \varepsilon \left[ \frac{\text{cm}^2}{\text{V}\cdot\text{s}} \right] \left[ \frac{\text{V}}{\text{cm}} \right] \quad (20)$$

—  $\mu$  η ευκινησία των ηλεκτρονίων

—  $\varepsilon$  το ηλεκτρικό πεδίο

# Ροή ρεύματος

- Το συνολικό ρεύμα που διαρρέει τον ημιαγωγό θα είναι:

$$J = J_n + J_p \quad [\text{A/cm}^2] \quad (21)$$

- Όπου για τα ηλεκτρόνια:

$$J_n = -qn\mu_n\varepsilon + qD_n \frac{dn}{dx} \quad [\text{A/cm}^2] \quad (22)$$

- Ενώ για τις οπές:

$$J_p = qp\mu_p\varepsilon - qD_p \frac{dp}{dx} \quad [\text{A/cm}^2] \quad (23)$$

- Η διαχυτότητα ηλεκτρονίων και οπών σχετίζεται με την ευκινησία με την σχέση του Einstein:

$$D = \frac{kT}{q} \mu \quad [\text{cm}^2\text{s}^{-1}] \quad (24)$$

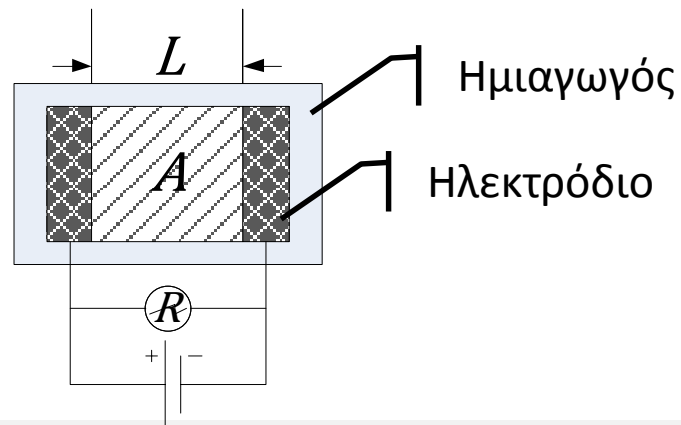


# Αγωγιμότητα

- Αγωγιμότητα = ηλεκτρική συγκέντρωση x ευκινησία:

$$\sigma = q(n \cdot \mu_n + p \cdot \mu_p) \quad [\Omega \cdot \text{cm}^{-1}] \quad (25)$$

- Ειδική αντίσταση:  $\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{R \cdot A}{L} \quad [\Omega \cdot \text{cm}] \quad (26)$



# Βασικές σχέσεις:

## παράδειγμα 3

Τί ποσοστό της αγωγιμότητας του ενδογενούς πυριτίου οφείλεται στα ηλεκτρόνια; Ποιά συγκέντρωση ατόμων Βορίου απαιτείται για την αύξηση της αγωγιμότητας του από το  $5 \times 10^{-6}$  στο  $1 (\Omega \text{cm})^{-1}$ . Ποιό ποσοστό της αγωγιμότητας οφείλεται τώρα στις οπές και τα ηλεκτρόνια; Δίδονται:  $\mu_n = 1900 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  και  $\mu_p = 425 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$

$$\sigma = qn_i(\mu_n + \mu_p)$$
$$\frac{\sigma_n}{\sigma} = \frac{\mu_n}{\mu_n + \mu_p} = \frac{1900}{1900 + 425} = 0.82$$

$$\sigma = q\rho\mu_p \Rightarrow$$

$$\rho = \frac{\sigma}{q\mu_p} = \frac{1}{(0.16 \times 10^{-18} \text{ As}) 425 \text{ cm}^2/\text{Vs}} = 1.5 \times 10^{16}$$

# Βασικές σχέσεις:

## παράδειγμα 4

Υπολογίστε τις συγκεντρώσεις ηλεκτρονίων και οπών, την ειδική αγωγιμότητα και την θέση του επιπέδου Fermi σε δίσκο πυριτίου που έχει εμπλουτιστεί με  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  άτομα Βορίου και  $0.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  άτομα φωσφόρου. Δίδονται:  $\mu_n = 1900 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  και  $\mu_p = 425 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$

$$p_p = \frac{1}{2} \left\{ 10^{16} - 0.8 \times 10^{16} + \sqrt{\left(10^{16} - 0.8 \times 10^{16}\right)^2 + 4\left(1.45 \times 10^{10}\right)^2} \right\} = 2 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

$$\frac{n_p}{p} = \frac{\left(1.45 \times 10^{10}\right)^2}{10^{16} - 0.8 \times 10^{16}} = 1.05 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$$

$$\sigma = (1.6 \times 10^{-19} [\text{A} \cdot \text{s}]) \left\{ \left( 1.05 \times 10^5 \cdot 1900 \left[ \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} \right] \right) + \left( 2 \times 10^{15} \cdot 425 \left[ \frac{\text{cm}^2}{\text{V} \cdot \text{s}} \right] \right) \right\} = 0.136 [\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}]$$

$$\rho = 1/0.136 = 7.35 [\Omega \cdot \text{cm}]$$





# Βασικές σχέσεις:

## παράδειγμα 4

Υπολογίστε τις συγκεντρώσεις ηλεκτρονίων και οπών, την ειδική αγωγιμότητα και την θέση του επιπέδου Fermi σε δίσκο πυριτίου που έχει εμπλουτιστεί με  $10^{16} \text{ cm}^{-3}$  άτομα Βορίου και  $0.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$  άτομα φωσφόρου. Δίδονται:  $\mu_n = 1900 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$  και  $\mu_p = 425 \text{ cm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$

$$\frac{p}{p_i} = \frac{N_v e^{-(E_F - E_v)/kT}}{N_v e^{-(E_i - E_v)/kT}} = e^{-(E_i - E_F)/kT}$$

$$E_F = E_i - kT \ln \frac{p}{p_i} = E_i - (8.62 \times 10^{-5} [\text{eV/K}]) \cdot 300 [\text{K}] \cdot \ln \frac{2 \times 10^{15}}{1.45 \times 10^{10}} = E_i - 0.3 \text{ eV}$$



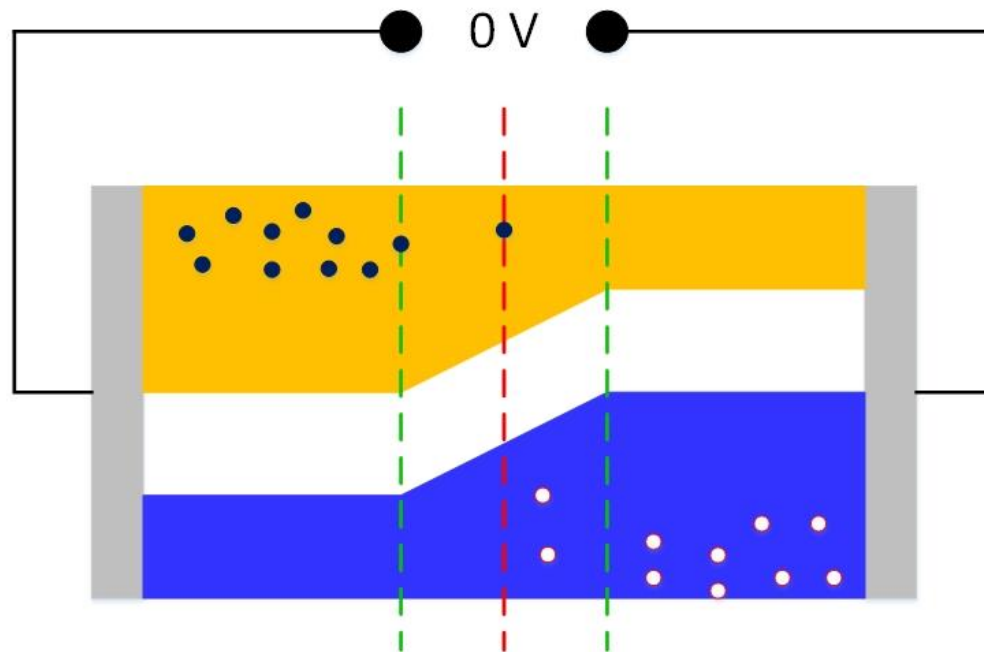
```

program fermi
  implicit none
  real, parameter::ni=1.45e10, k=8.62e-5, mn=1900, mp=425, q=1.6e-19, T=300
  real::na, nd, nn, pn, pp, np, ef, s, r
  ! Αρχή:
  do
    na=0; nd=0; print*
    print*, 'give the density of phosphorous and boron atoms'
    print*, '(if both are 0 the calculation will stop)'
    read*, nd, na; if(na==0.and.nd==0) exit
    if (na>nd) then
      print*, 'this is a p-type semiconductor'
      print*, '-----'
      pp=0.5*(na-nd+sqrt((na-nd)**2+4*(ni)**2)); np=ni**2/(na-nd)
      print '(5x, a36, es8.2)', 'majority carrier concentration: pp=', pp
      print '(5x, a36, es8.2)', 'minority carrier concentration: np=', np
      ef=k*T*log(pp/ni)
      print '(5x, a39, f4.2, a3)', 'position of the fermi level:   ef=ei-', ef, ' ev'
      s=q*(np*mn+pp*mp); r=1./s
      print '(4x, a36, f5.3)', ' conductivity in 1/(ohm cm):      s=', s
      print '(4x, a36, f5.3)', ' resistivity in (ohm cm):      s=', r
    else
      print*, 'this is an n-type semiconductor'
      print*, '-----'
      nn=0.5*(nd-na+sqrt((nd-na)**2+4*(ni)**2)); pn=ni**2/(nd-na)
      print '(5x, a36, es8.2)', 'majority carrier concentration: nn=', nn
      print '(5x, a36, es8.2)', 'minority carrier concentration: pn=', pn
      ef=k*T*log(nn/ni)
      print '(5x, a39, f4.2, a3)', 'position of the fermi level:   ef=ei+', ef, ' ev'
      s=q*(nn*mn+pn*mp); r=1./s
      print '(4x, a36, f5.3)', ' conductivity in 1/(ohm cm):      s=', s
      print '(4x, a36, f5.3)', ' resistivity in (ohm cm):      s=', r
    endif
    print*, '-----'
  enddo
end program fermi

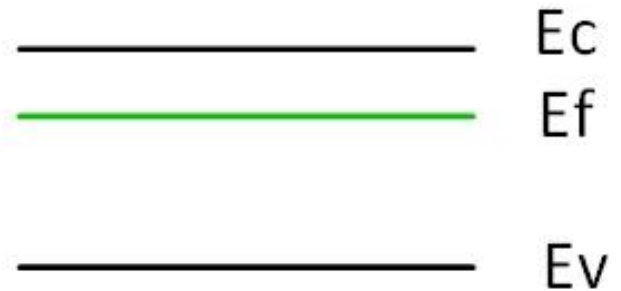
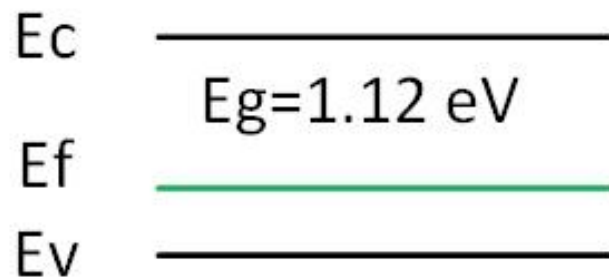
```

# Δίοδοι

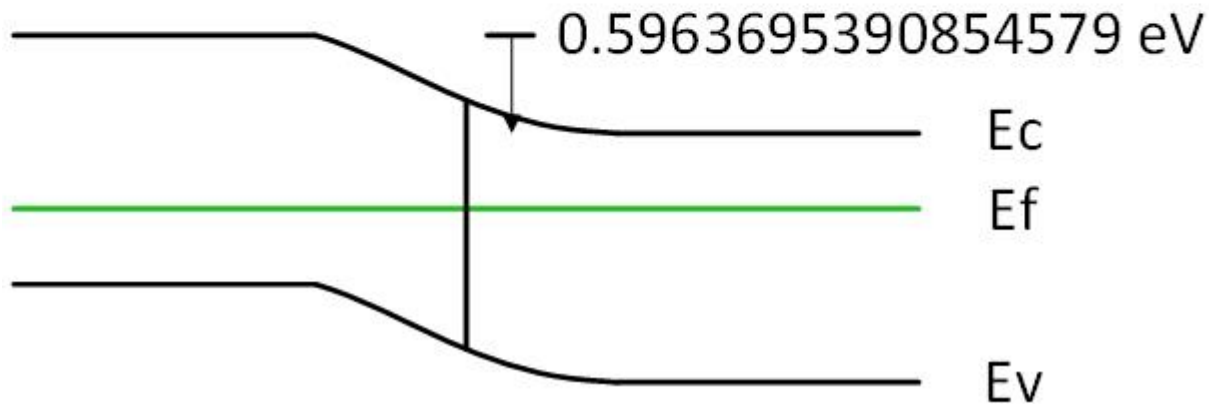
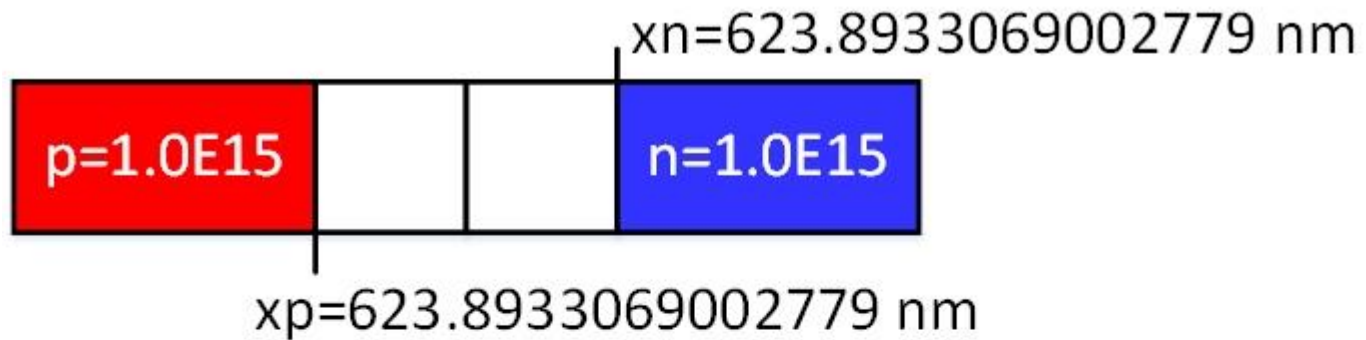
When we bring P-type and N-type together a depletion zone is created around the junction. This produces a barrier, blocking charge flow.



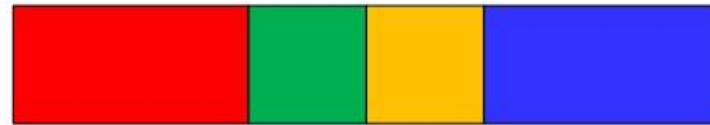
# Διεπαφή p-n



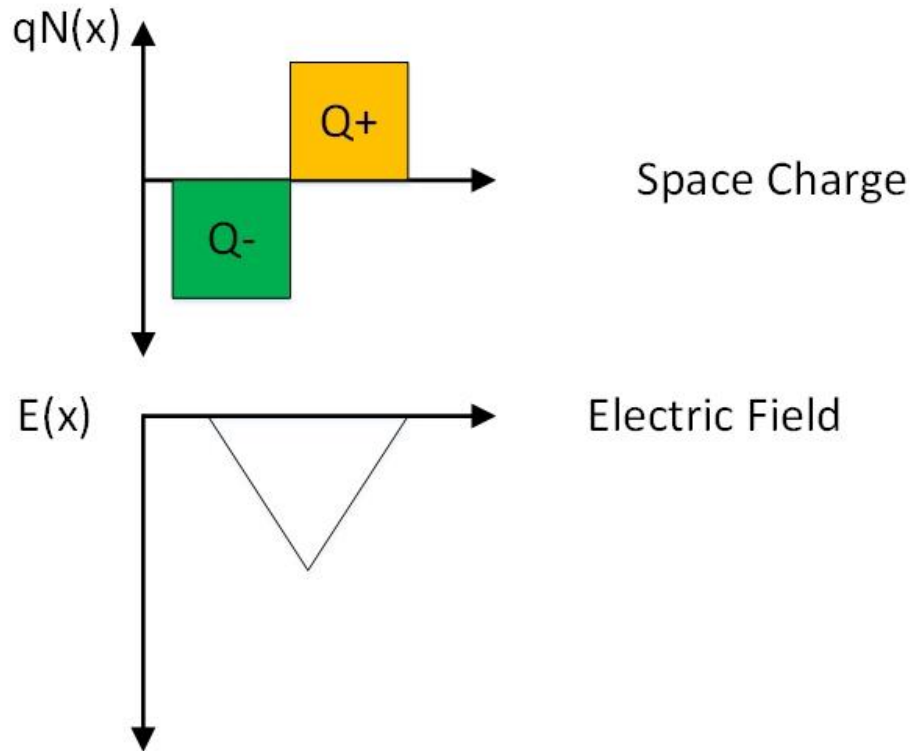
# Διεπαφή p-n



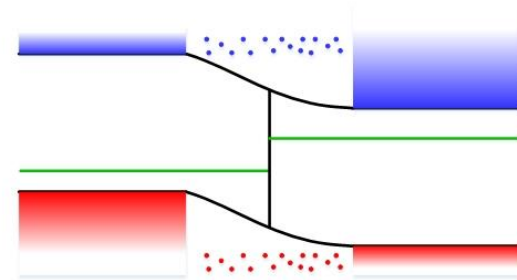
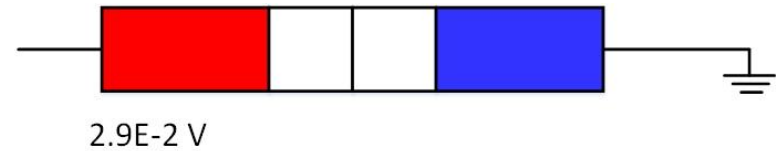
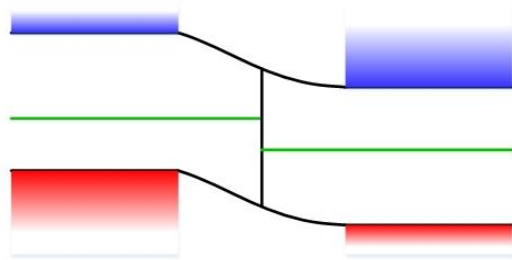
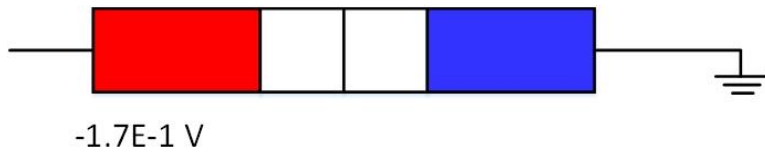
# Διεπαφή p-n



PN Junction



# Διεπαφή p-n



# Transistors

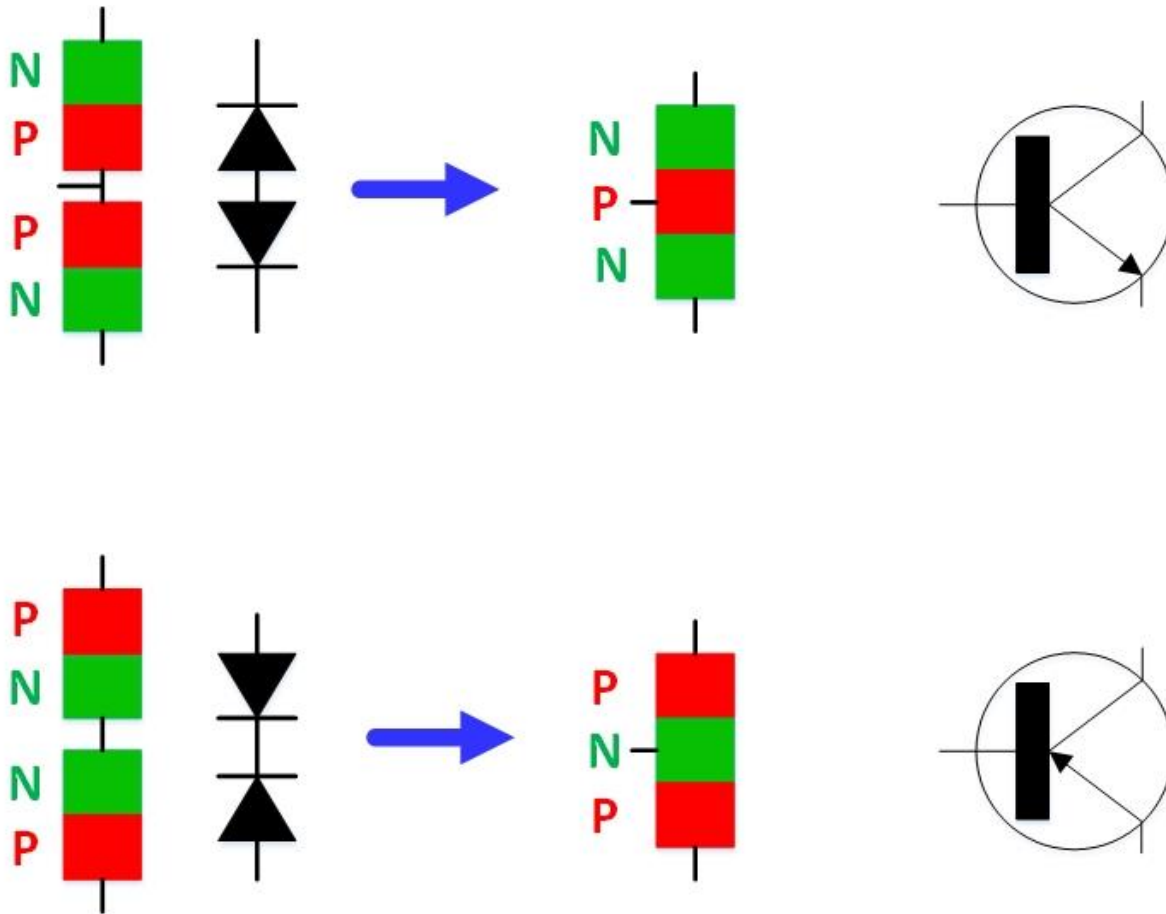


[Image url](#)



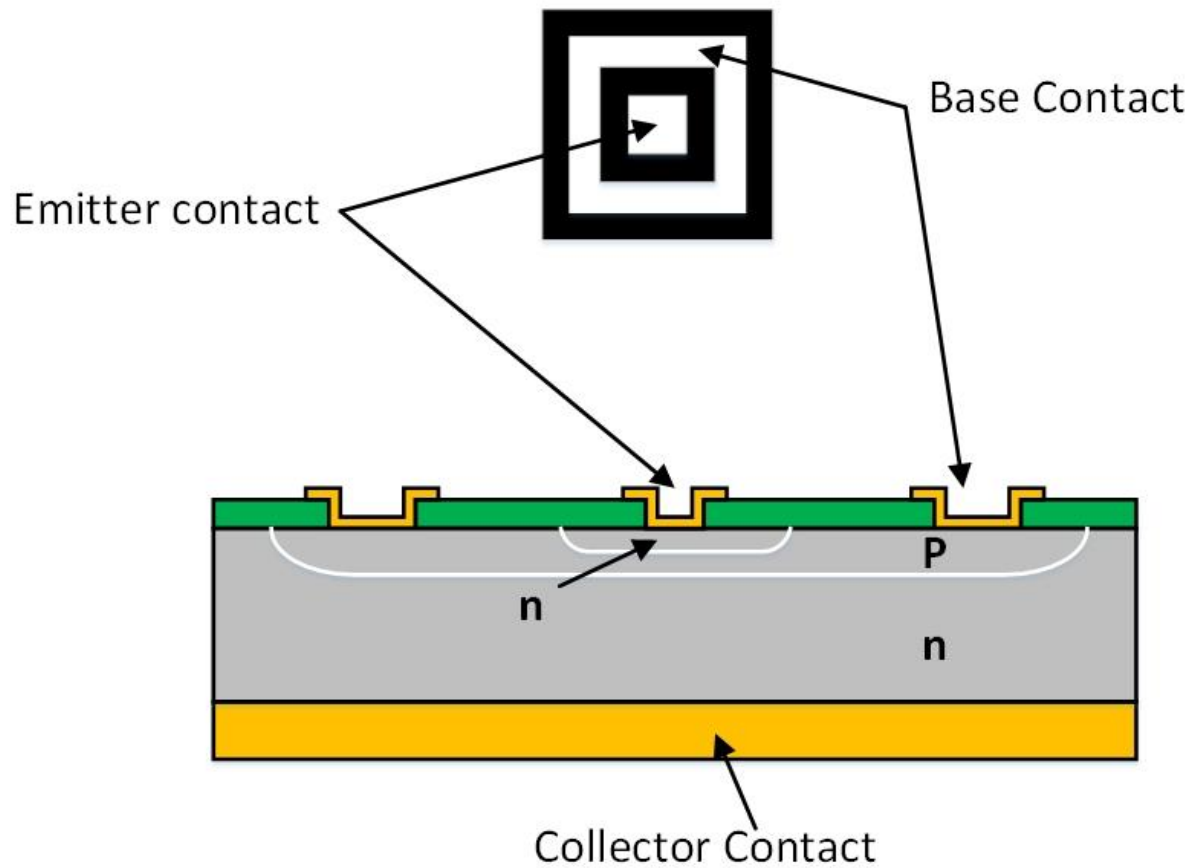


# Transistors

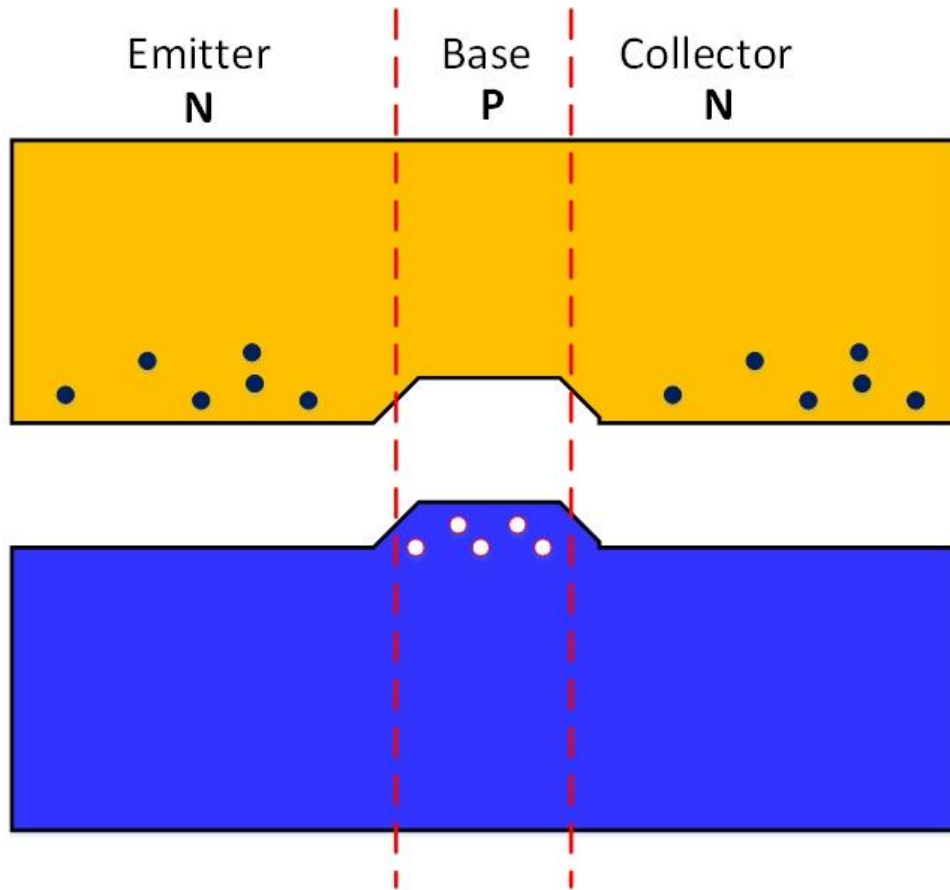


# Transistors

Simplified IC NPN Transistor

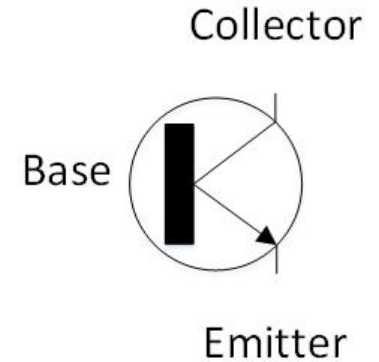


# Transistors

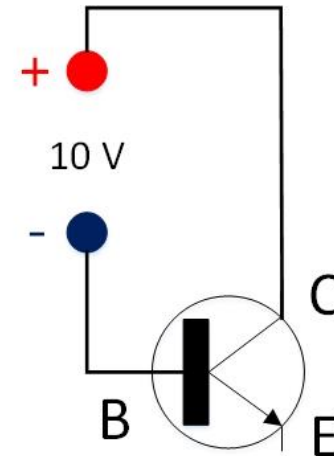
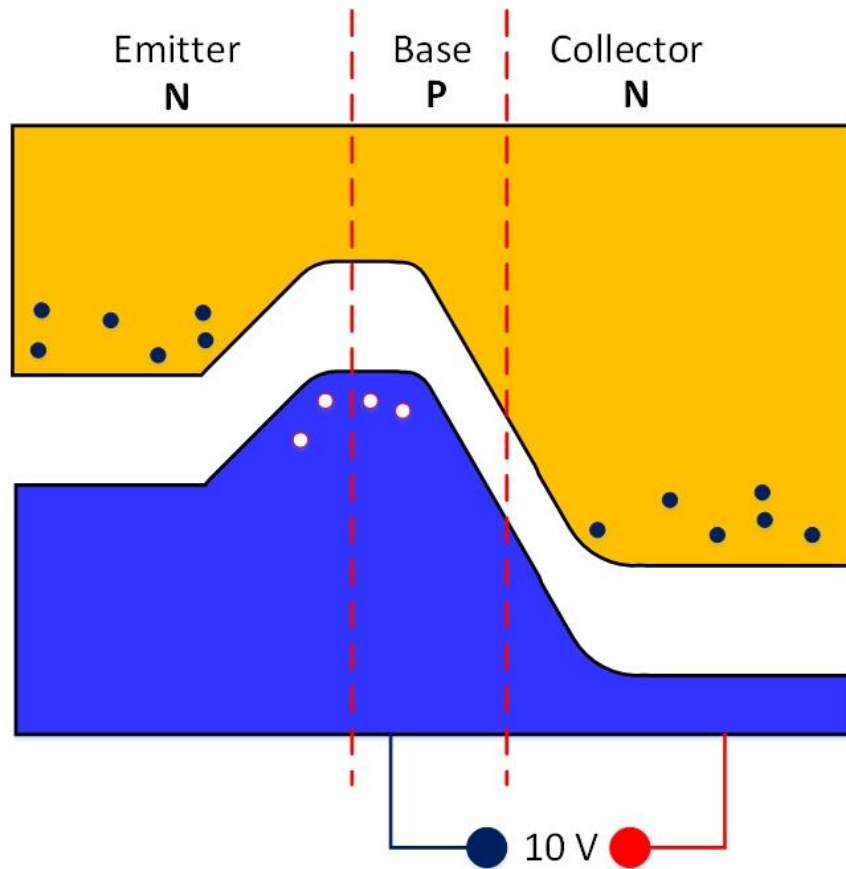


NPN Bipolar Transistor

- Free Electron
- Free Hole



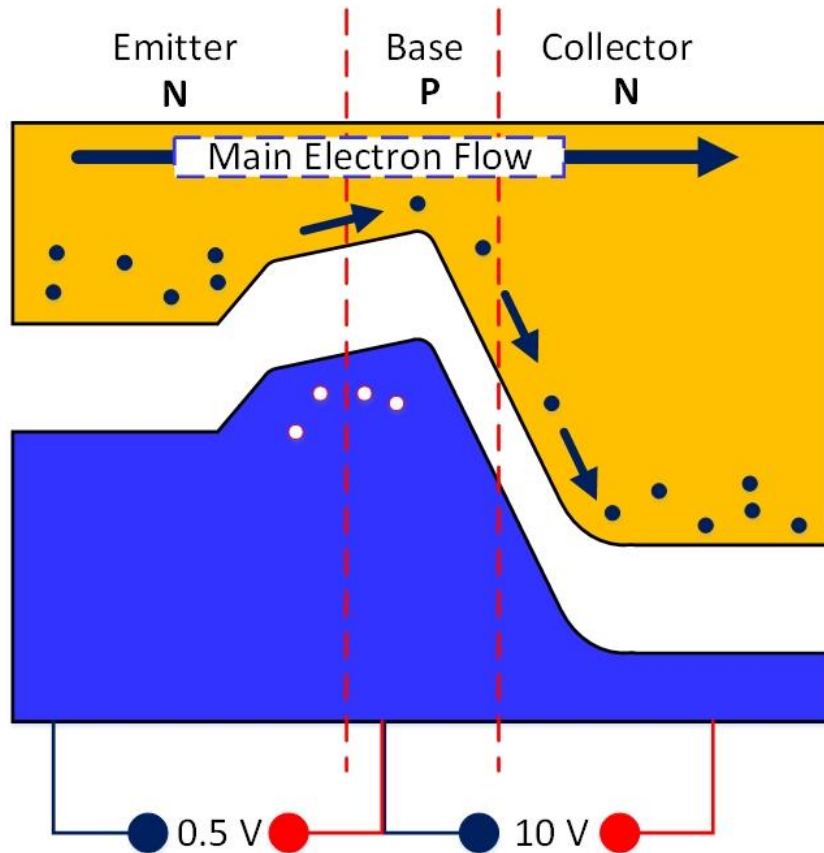
# Transistors



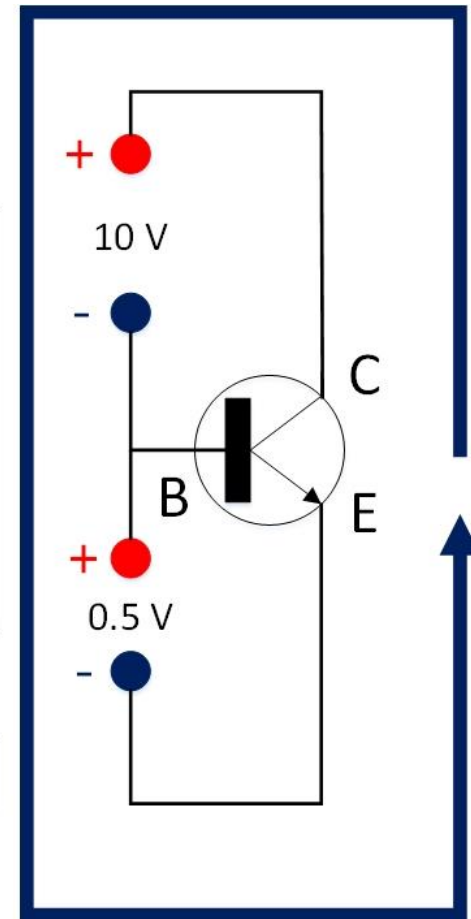
Apply a Collector-Base Voltage



# Transistors



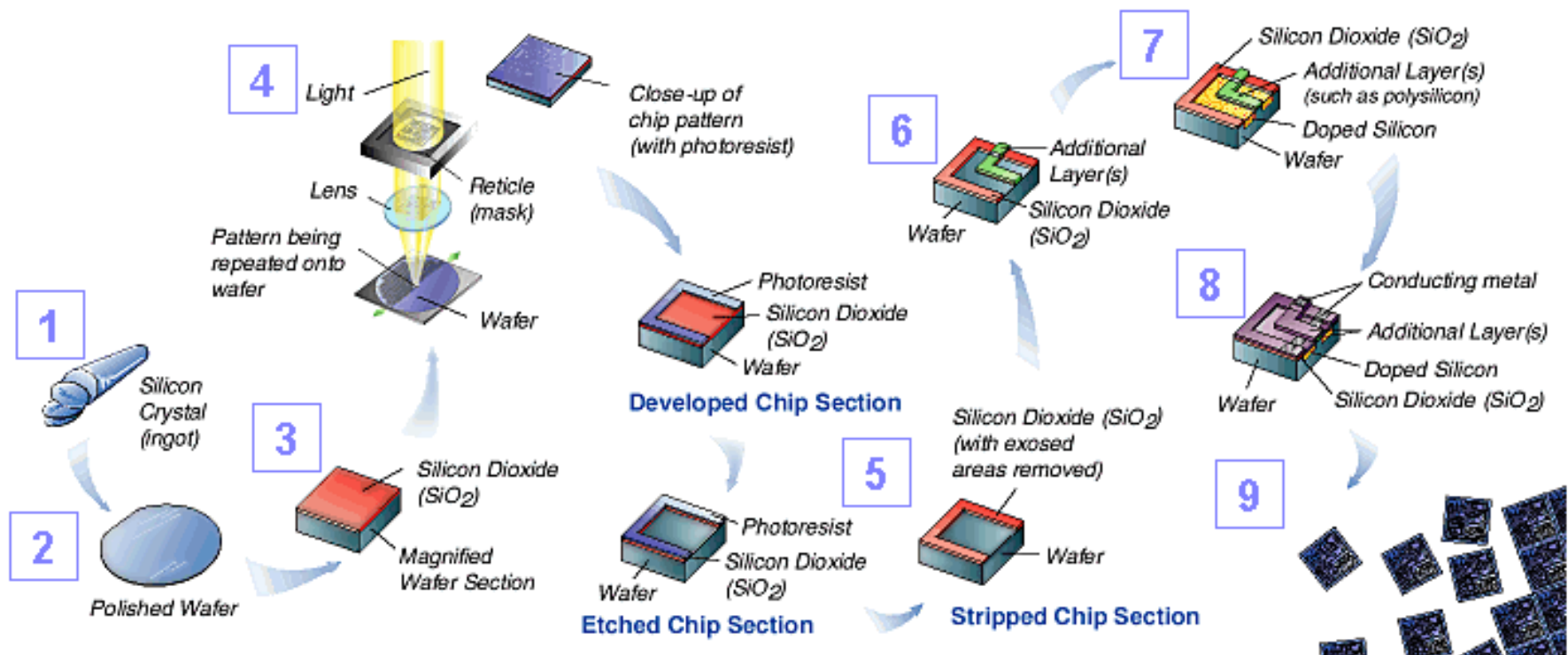
Apply an Emitter-Base Voltage



Main Electron Flow

# Ολοκληρωμένα Κυκλώματα

[Image url](#)



Τέλος Ενότητας

Σε περίπτωση που δεν αναφέρεται πηγή, το υλικό έχει δημιουργηθεί από τον ίδιο τον διδάσκοντα.





# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Όνομα μέλους ή μελών ΔΕΠ 2014:  
Δημήτριος Ματαράς. «Διεργασίες Παραγωγής Ηλεκτρονικών Υλικών».  
Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:  
<https://eclass.upatras.gr/courses/CMNG2179/>.



# 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.



# 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.