

# ΕΜΦΥΤΕΥΣΗ ΙΟΝΤΩΝ ΣΕ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Κύρτσος Αλέξανδρος Ανδρέας

Υπεύθυνος καθηγητής: Ζάννη-Βλαστού Ρόζα

# Τρόποι εμπλουτισμού ενός υλικού

## ➤ Εμφύτευση ιόντων

Τεχνική χαμηλής θερμοκρασίας για την εισαγωγή προσμίξεων σε ένα υλικό

## ➤ Διάχυση

Τεχνική υψηλής θερμοκρασίας

$$J = -D \frac{dC}{dx}$$

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q_d}{RT}\right)$$



# Εμφύτευση ιόντων (Ion implantation)

---

- Είναι μια τεχνική κατά την οποία ιόντα ενός υλικού (δότης) εμφυτεύονται σε ένα δεύτερο υλικό (δέκτης).
- Τα άτομα του δότη είναι ιονισμένα και διαχωρισμένα με τον λόγο μάζα προς φορτίο.
- Το μέσο βάθος διείσδυσης εξαρτάται από τα δύο υλικά και την ενέργεια της δέσμης
- Τυπικά βάθη είναι από 10nm έως 10μm με ενέργειες της τάξης των keV έως MeV



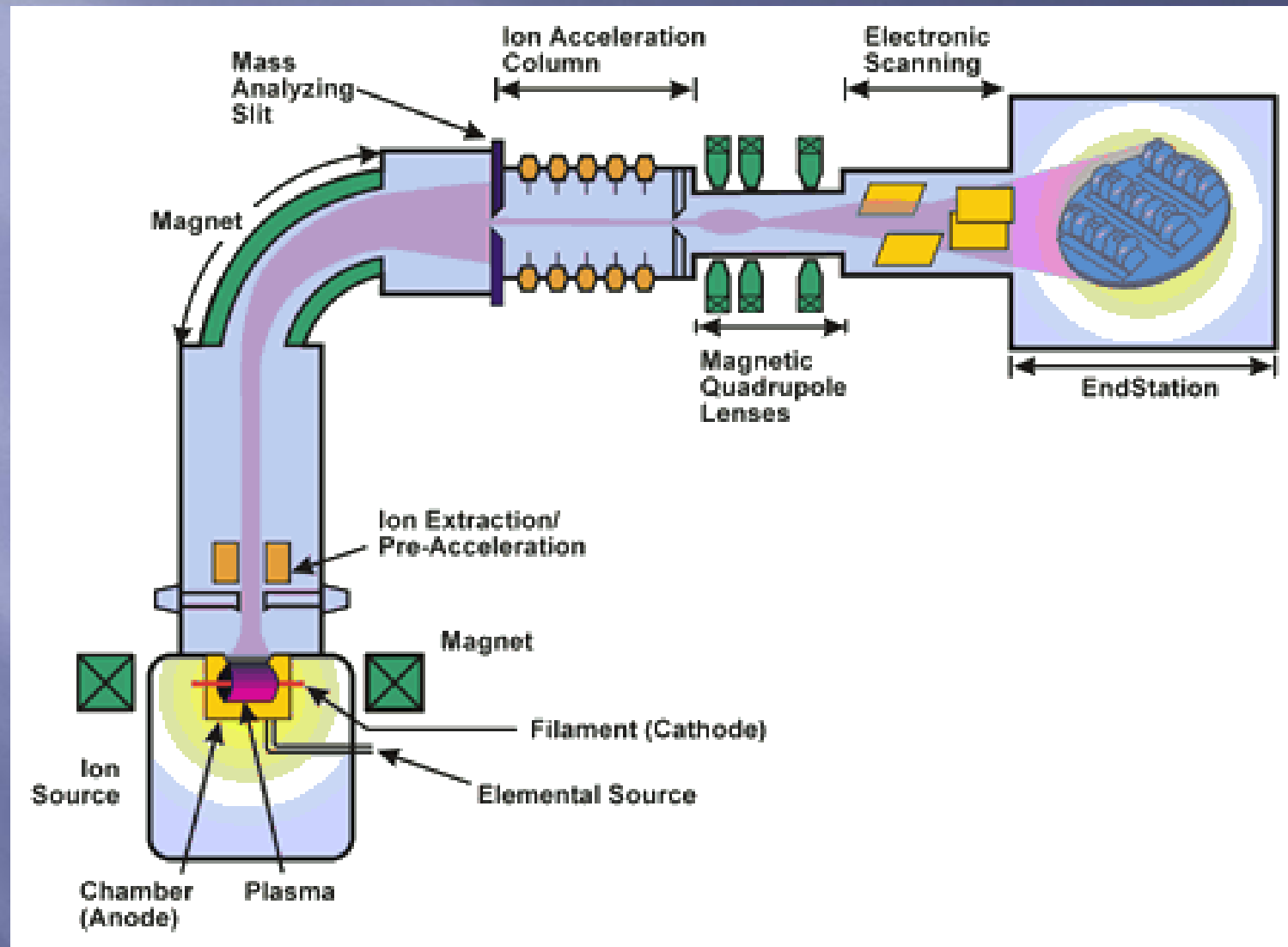
# Αποτελέσματα της μεθόδου

---

- Μετατροπή της χημικής σύστασης της επιφάνειας του υλικού
- Αλλαγή ή βελτίωση των ιδιοτήτων του υλικού στην επιφάνεια
- Πλεγματική καταστροφή του υλικού



# Σύστημα εμφύτευσης ιόντων





## Μηχανισμοί πέδησης (Stopping)

---

➤ Πέδηση από τον πυρήνα

$$S_n = (dE/dx)_n$$

➤ Πέδηση από τα ηλεκτρόνια

$$S_e = (dE/dx)_e$$

Το άθροισμα των 2 όρων μας δίνει την ισχύ ανάσχεσης



# Πυρηνική πέδηση

---

- Ελαστικές κρούσεις ιόντων-πυρήνων
- Αλλαγή πορείας του ιόντος
- Αλλαγή θέσης του πυρήνα του στόχου



- Ανελαστικές κρούσεις ιόντων-ηλεκτρονίων
- Δημιουργία ζευγών οπών-ηλεκτρονίων

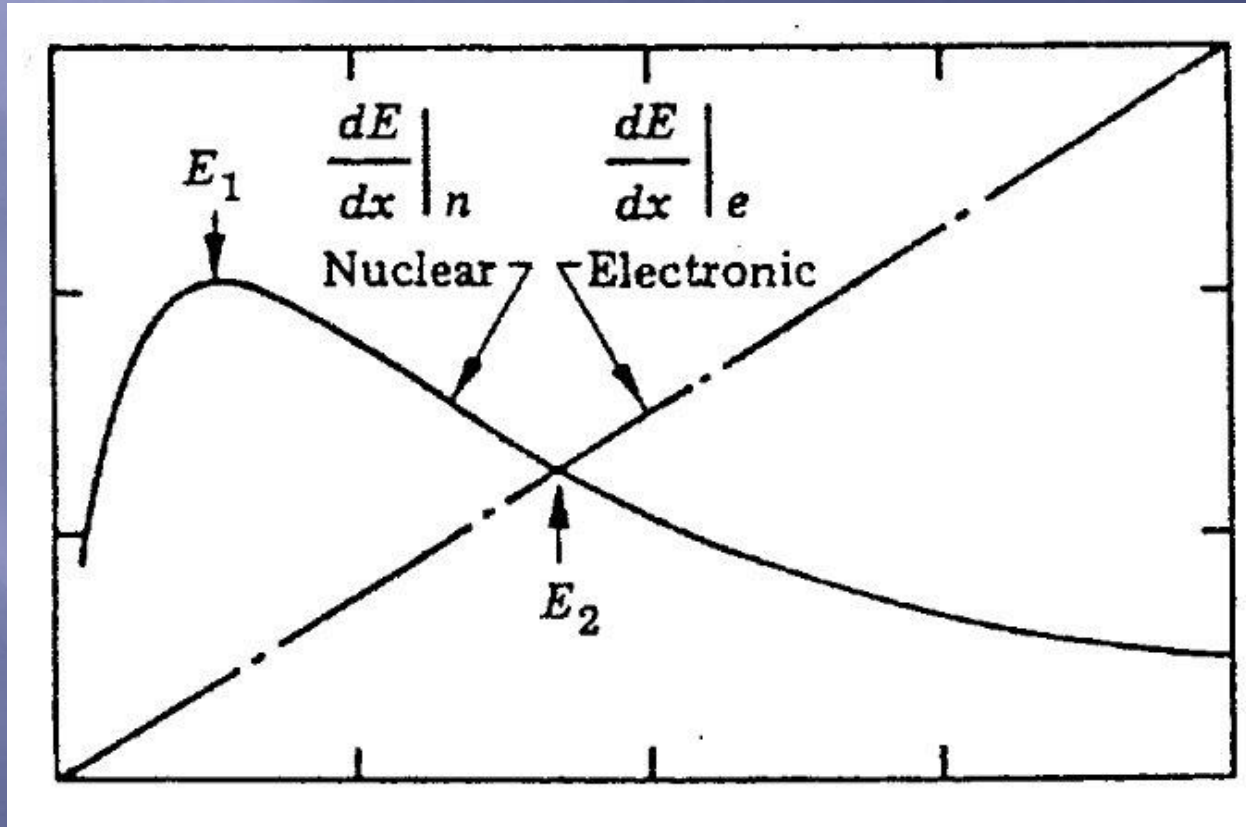


Χαμηλή κινητική ενέργεια ιόντων  $\rightarrow$

Πυρηνική πέδηση

Υψηλή κινητική ενέργεια ιόντων  $\rightarrow$

Ηλεκτρονική πέδηση



# Επιφανειακή καταστροφή του υλικού

---

- Κυρίως σε χαμηλές ενέργειες
- Τα ιόντα διώχνουν τα άτομα του στόχου από τις πλεγματικές τους θέσεις
- Τα άτομα του στόχου που έχουν παρασυρθεί, συγκρούονται με άλλα άτομα

Αποτέλεσμα

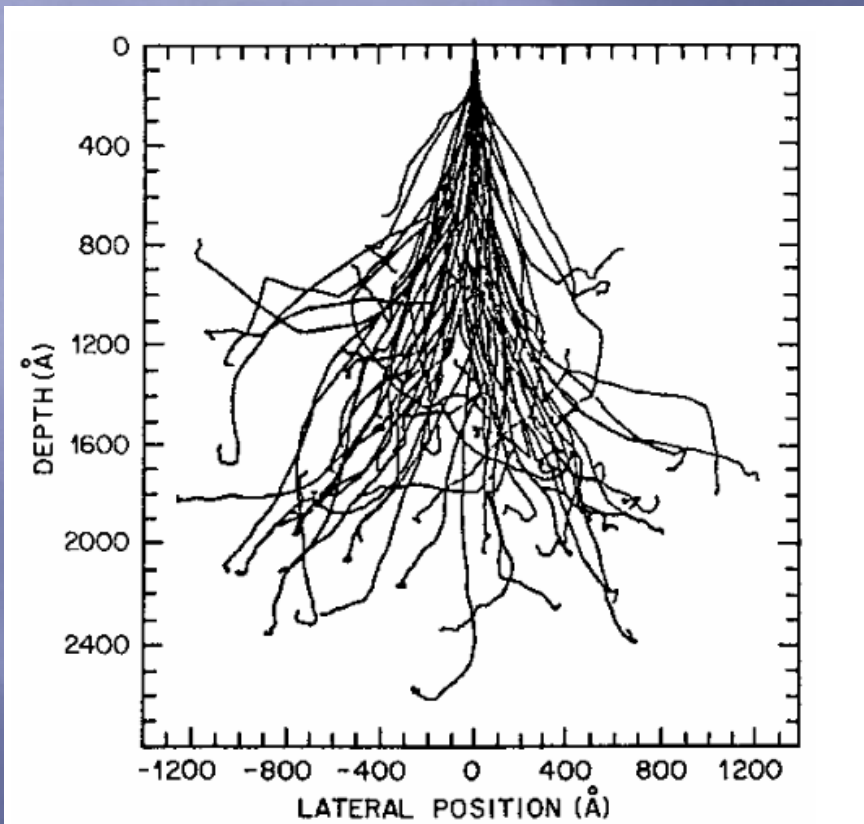


Δομική αταξία – πλεγματική καταστροφή

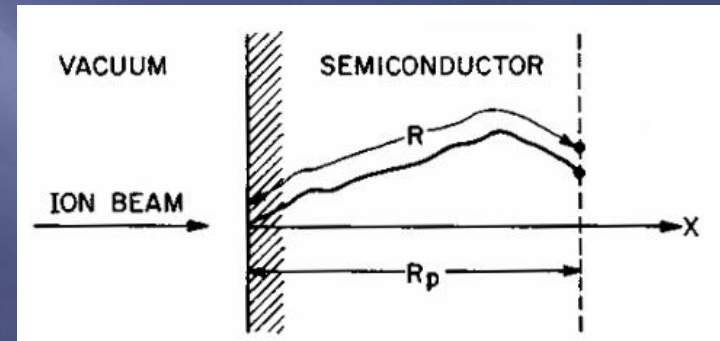


# Βεληνεκές (Range)

Το βεληνεκές ορίζεται ως το μέσο βάθος διείσδυσης των ιόντων ( $R_p$ )



Προσοχή στην διαφορά βάθους διείσδυσης και μήκους διαδρομής των ιόντων

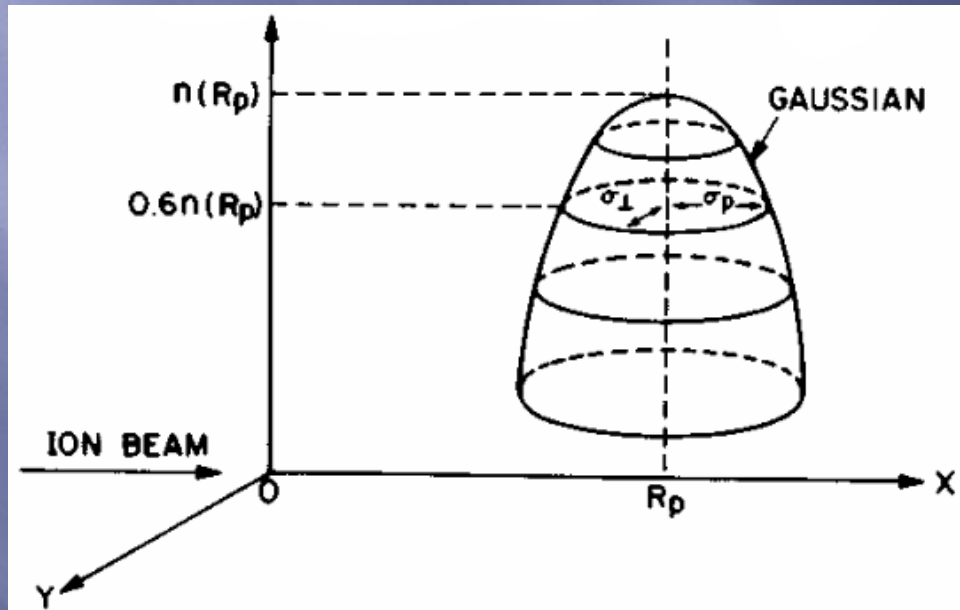


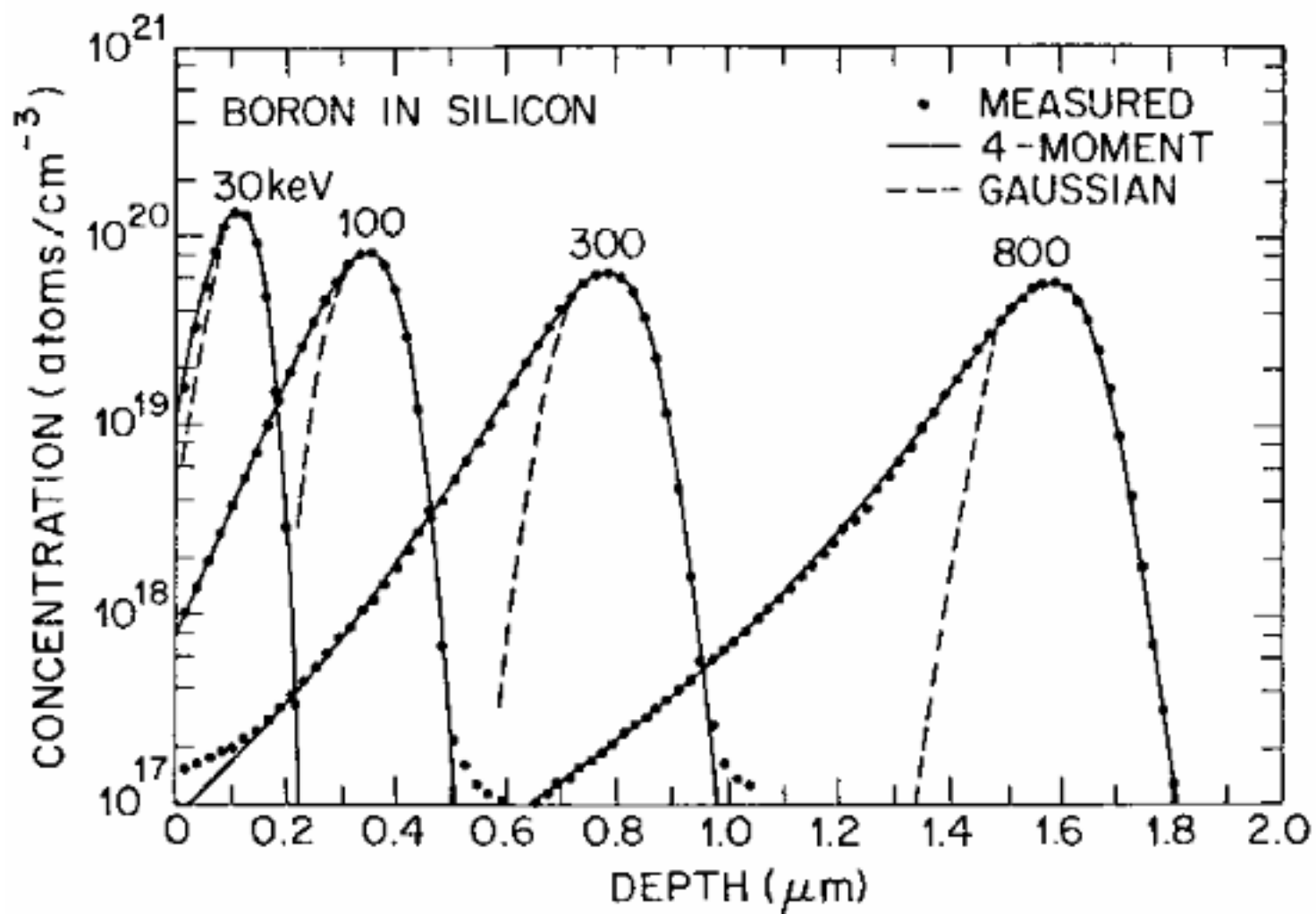
# Κατανομή των ιόντων

Ως προς το βάθος εμφύτευσης και ως προς το εύρος, μπορούμε να θεωρήσουμε γκαουσιανή κατανομή

Η συγκέντρωση των ιόντων σε βάθος  $x$  εκφράζεται από την εξίσωση

$$n(x) = n_o \exp\left\{-\frac{(x - R_p)^2}{2\sigma_p^2}\right\}$$





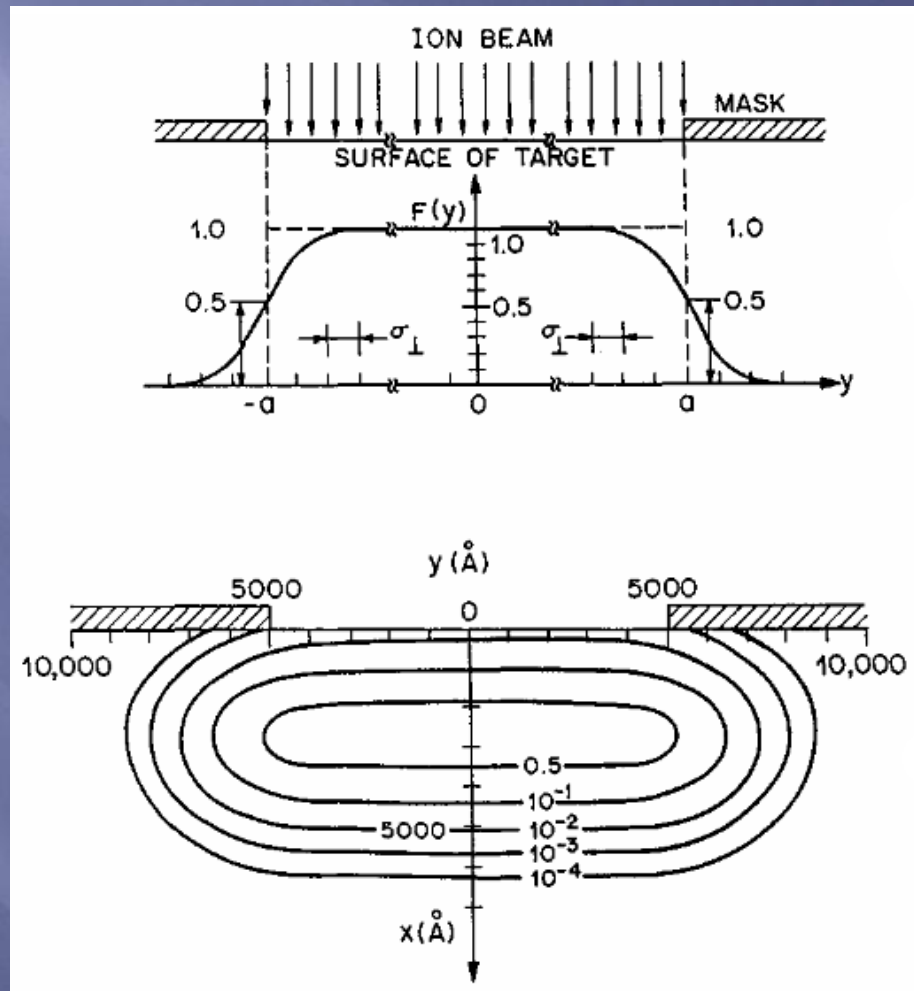


100 keV boron implantation

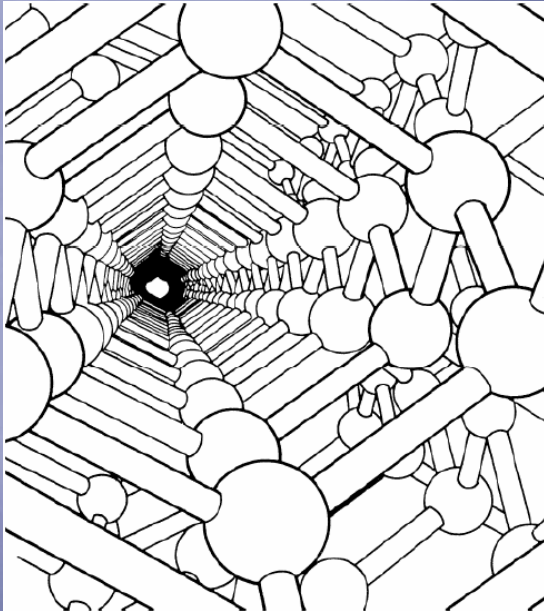
Material	Symbol	Density (g/cm <sup>3</sup> )	R <sub>p</sub> (Å)	σ <sub>p</sub> (Å)
Silicon	Si	2.33	2968	735
Silicon dioxide	SiO <sub>2</sub>	2.23	3068	666
Silicon nitride	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>	3.45	1883	408
Photoresist AZ111	C <sub>8</sub> H <sub>12</sub> O	1.37	10569	1202
Titanium	Ti	4.52	2546	951
Titanium silicide	TiSi <sub>2</sub>	4.04	2154	563
Tungsten	W	19.3	824	618
Tungsten silicide	WSi <sub>2</sub>	9.86	1440	555



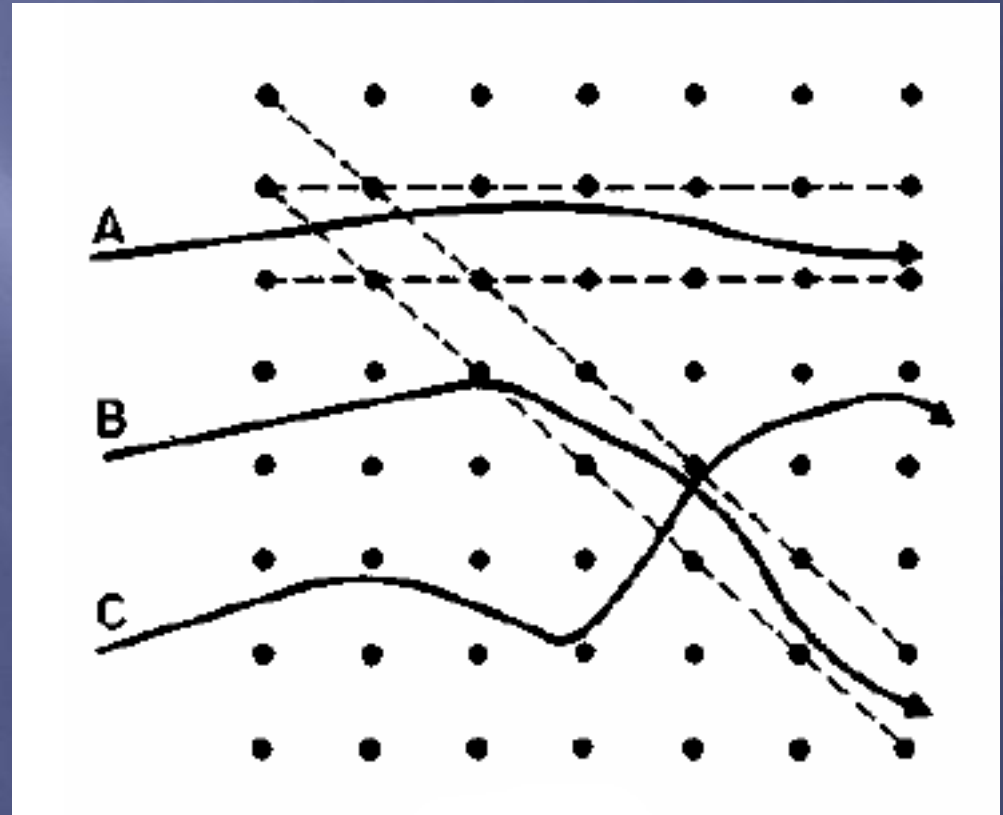
# Βόριο με ενέργεια 70 keV

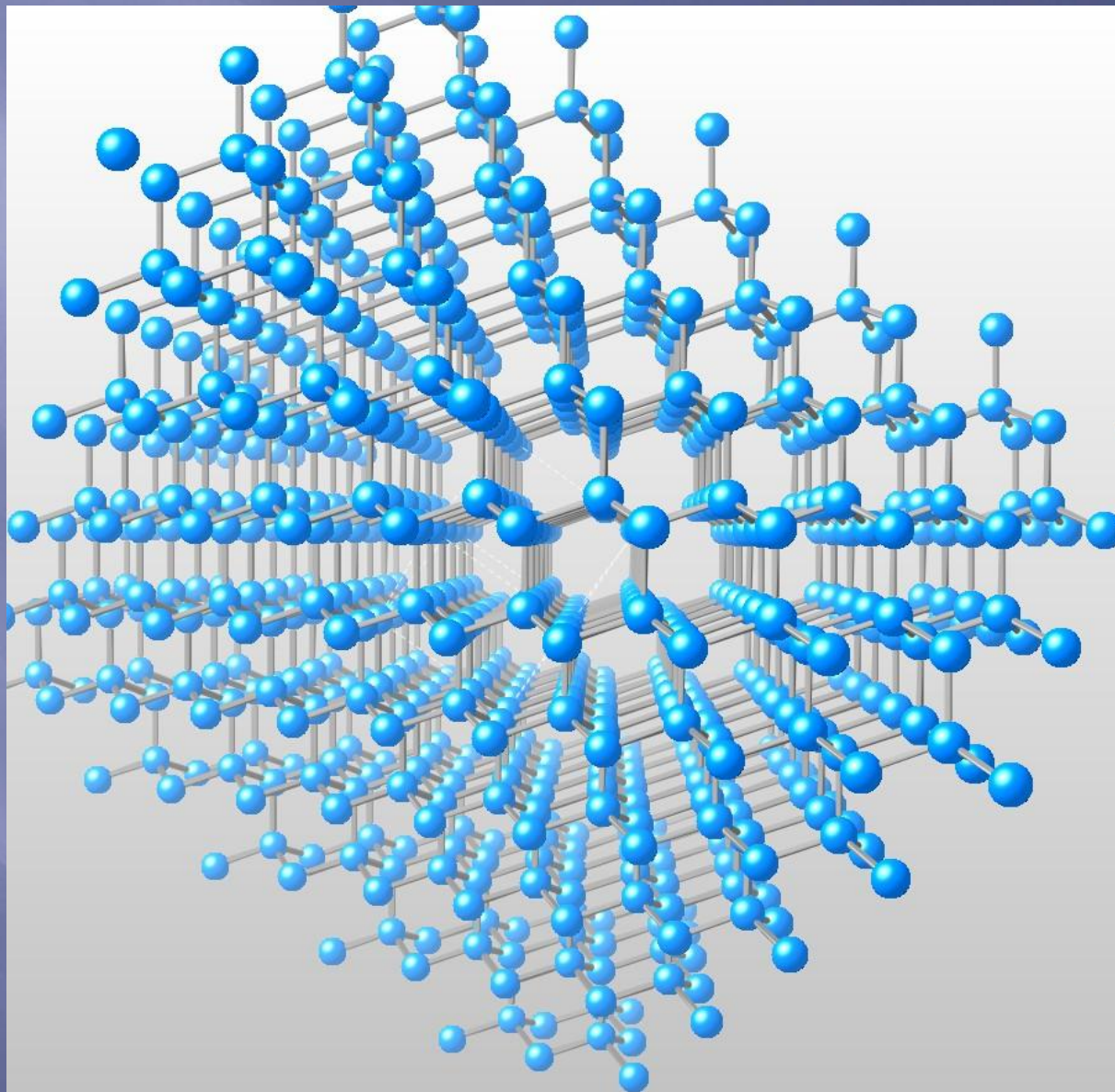


# Διαυλισμός (Channeling)



Κρύσταλλος δομής  
σφαλερίτη στην κατ-  
εύθυνση  $\langle 110 \rangle$







## Κατά μήκος ενός καναλιού

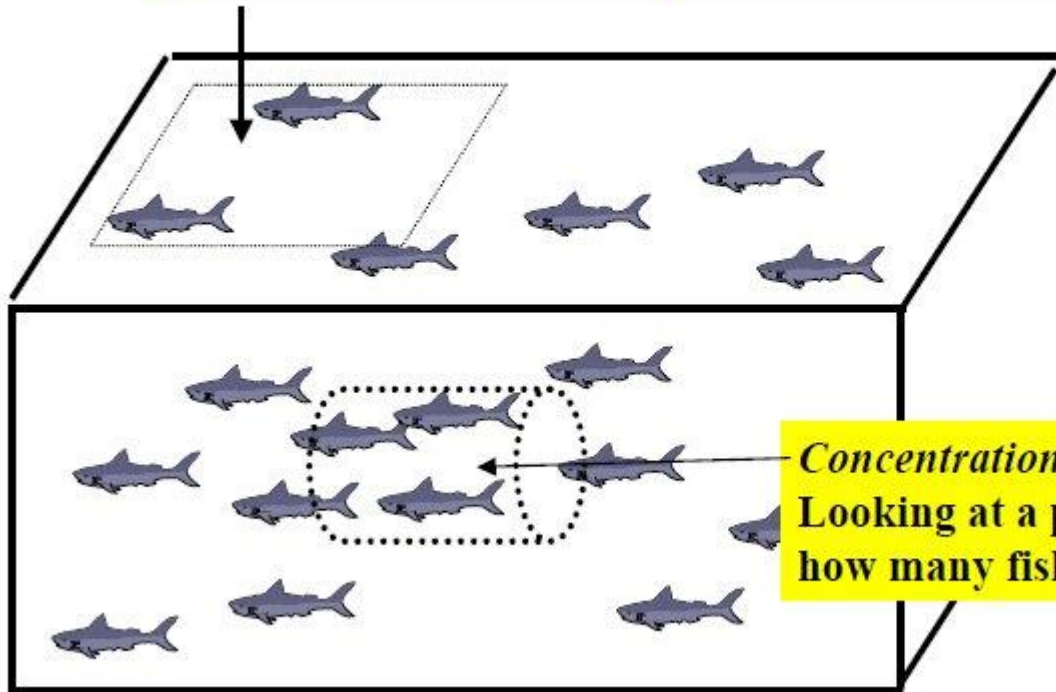
- Μηδενίζεται ο μηχανισμός πυρηνικής αναχαίτισης
- Τα ιόντα χάνουν ενέργεια με πολύ μικρότερο ρυθμό
- Σημαντική αύξηση του βεληνεκούς
- Μείωση της καταστροφής του πλέγματος



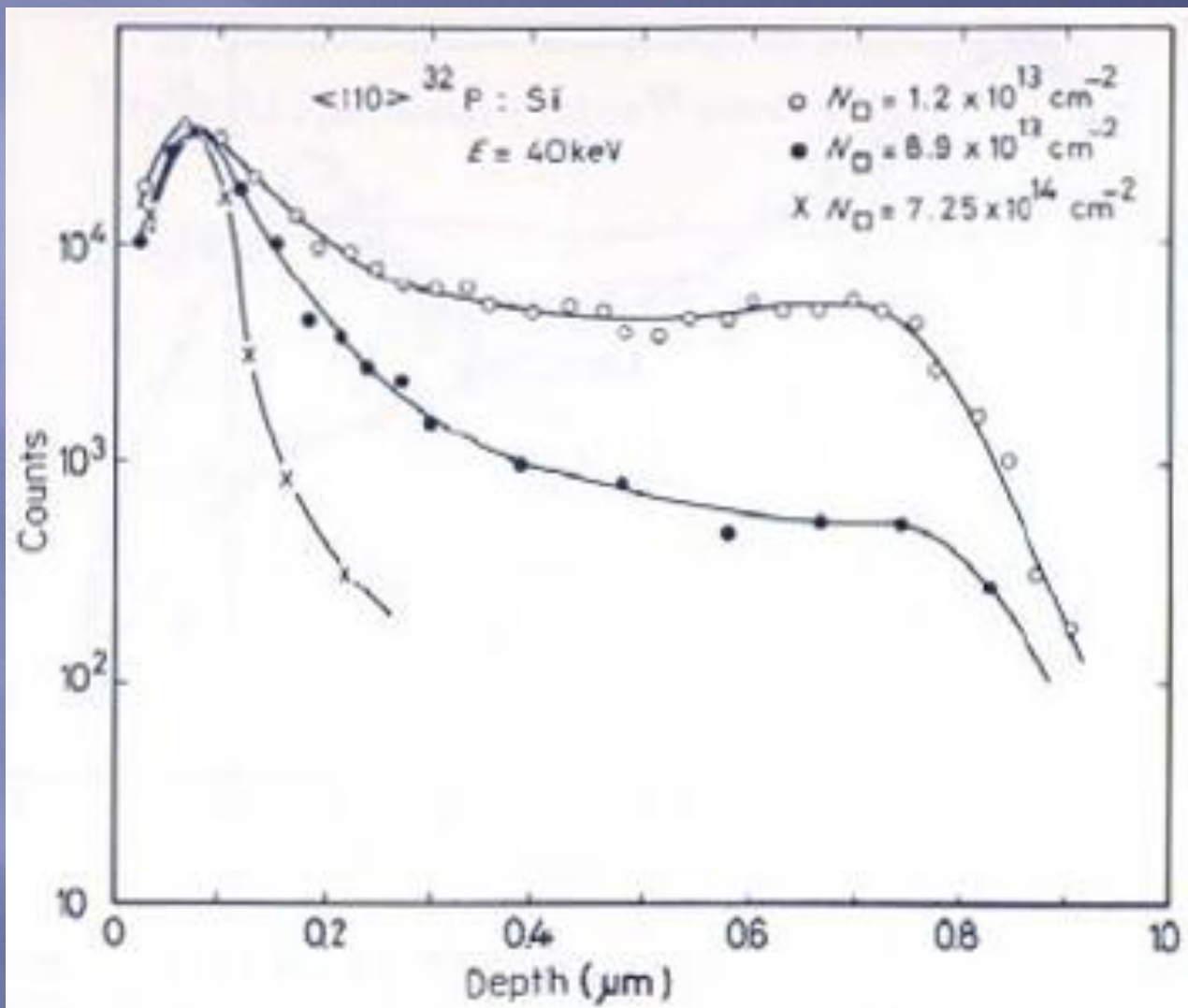


# Ορισμός Δόσης

***Dose* [# / area] : looking downward, how many fish per unit area for *ALL* depths**



***Concentration* [# / volume] :  
Looking at a particular location,  
how many fish per unit volume**



Αυξάνοντας την δόση μειώνεται το φαινόμενο του διαυλισμού



# Ανάκρουση (Recoil)

---

Αν ο στόχος αποτελείται από 2 στρώματα, τότε άτομα από το πρώτο θα παρασυρθούν στο δεύτερο



Αυτό μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο ή να έχει καταστροφικές συνέπειες



Μόλυνση του υποστρώματος



Εμπλουτισμός του υποστρώματος που δεν θα μπορούσε να συμβεί διαφορετικά

# Ανόπτηση

---

Μετά την εμφύτευση των ιόντων, η κρυσταλλικότητα της επιφάνειας έχει καταστραφεί.



Χρειάζεται μια διαδικασία με την οποία αποκαθίσταται η κρυσταλλικότητα

- Συμβατική ανόπτηση
- Ταχεία ανόπτηση



# Συμβατική ανόπτηση

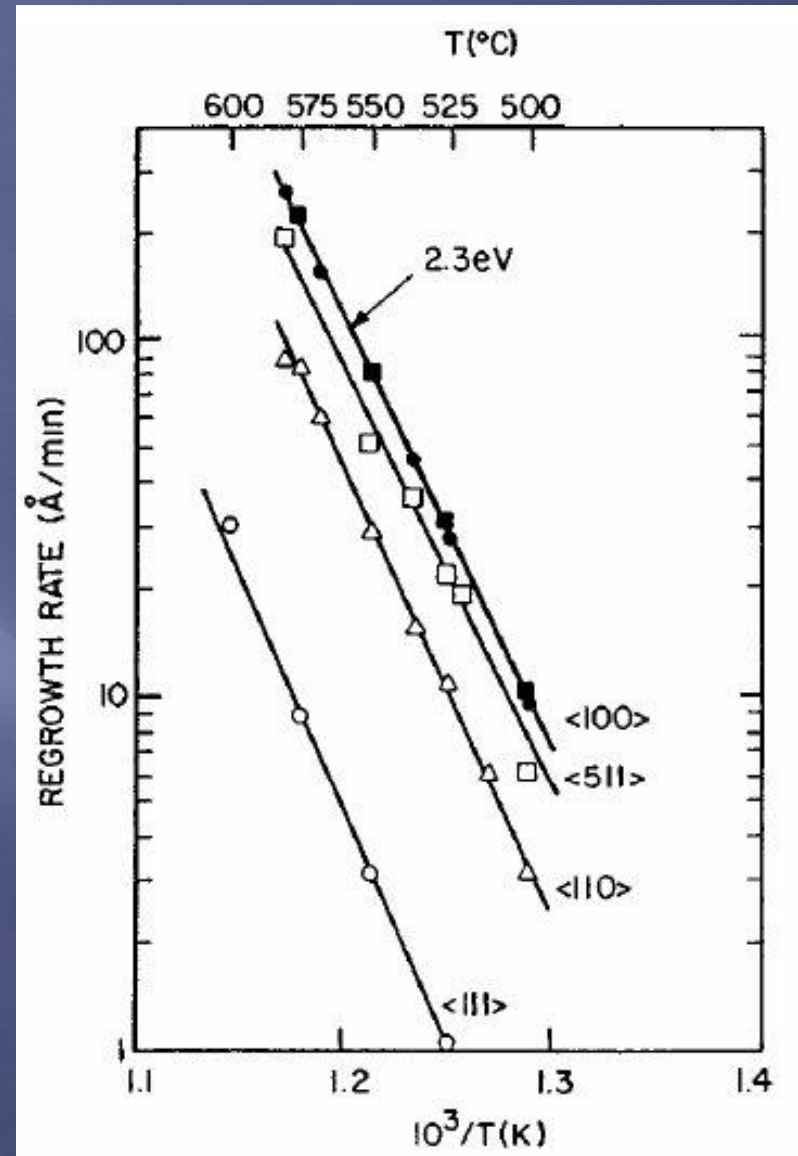
---

- Η ανόπτηση του υλικού συμβαίνει σε κλίβανο υψηλής θερμοκρασίας  $\sim 900$  °C
- Όταν έχει καταστραφεί η κρυσταλλική δομή, η αναδόμηση γίνεται με solid phase epitaxy (SPE) (Περίπου 2.3 eV η ενέργεια ενεργοποίησης για Si)
- Σταθερή ταχύτητα αναδόμησης
- Πολύ σημαντικό ρόλο στην ταχύτητα παίζουν οι προσμίξεις  
(Τα O, C, N, Ar μειώνουν την ταχύτητα ενώ τα B, P, As την αυξάνουν)





Η αύξηση θερμοκρασίας οδηγεί σε αύξηση του ρυθμού αναδόμησης



- Αν δεν έχει καταστραφεί πλήρως η κρυσταλλική δομή, η αναδόμηση πραγματοποιείται μέσω διάχυσης των ατελειών
- Τυπική ενέργεια ενεργοποίησης είναι τα 5 eV και χρειάζονται θερμοκρασίες περίπου 900 °C



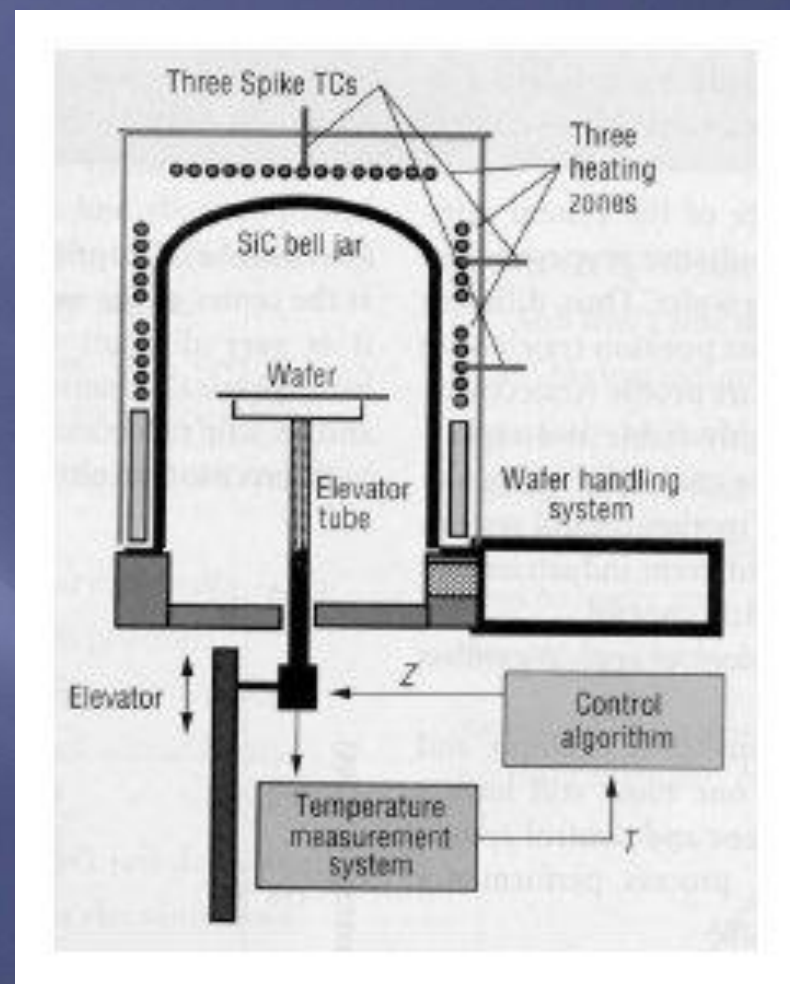
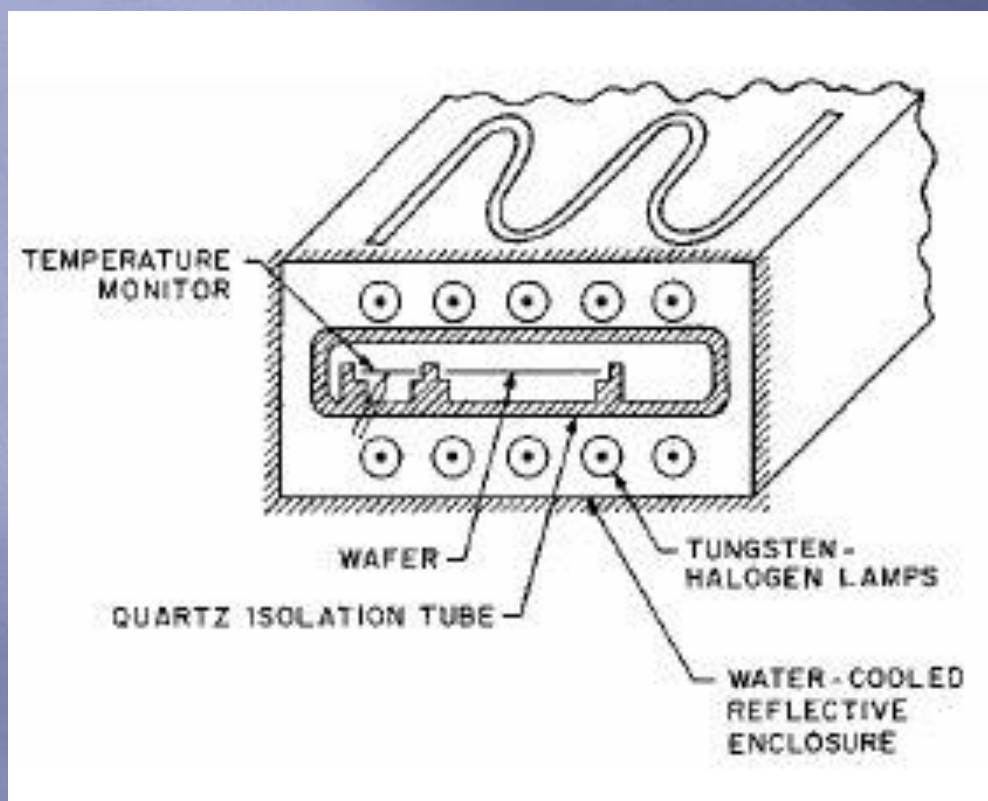
Γι' αυτό είναι πιο εύκολη η αναδόμηση μιας πλήρως άμορφης περιοχής από μια μερικώς κατεστραμμένη

# Ταχεία ανόπτηση (RTA)

---

- Ανόπτηση με λάμπες βολφραμίου-αλογόνου  
Το δισκίδιο θερμαίνεται με χρήση λαμπών από την μία ή και τις δύο πλευρές
- Ανόπτηση σε κλίβανο  
Με χρήση κλίβανου μεταβλητής θερμοκρασίας πετυχαίνουμε ρυθμούς αύξησης έως και  $150\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{sec}$
- Ανόπτηση με laser  
Ταχύτατη άνοδος της θερμοκρασίας και μείωση του χρόνου ανόπτησης σε nsec







# Εφαρμογές

- Μικροηλεκτρονική  
Συστήματα CMOS, MOSFETs, SOS, SOI κλπ
- Μέταλλα  
Βελτίωση αντιδιαβρωτικής συμπεριφοράς και μείωση της φθοράς  
Ni, Cr, N, Ar, B, C σε Ti σε Fe κλπ
- Βιοσυμβατά υλικά  
Αντοχή στη διάβρωση, βελτίωση τριβολογικών ιδιοτήτων  
Εμφύτευση C,N σε Ti(6)Al(4)V
- Πολυμερή  
Τροποποίηση των ηλεκτρικών και οπτικών τους ιδιοτήτων
- Μελέτη ιδιοτήτων στα υλικά  
Μελέτη πλεγματικής καταστροφής, διάχυσης κλπ





Ευχαριστώ για την προσοχή σας !



# Βιβλιογραφία

---

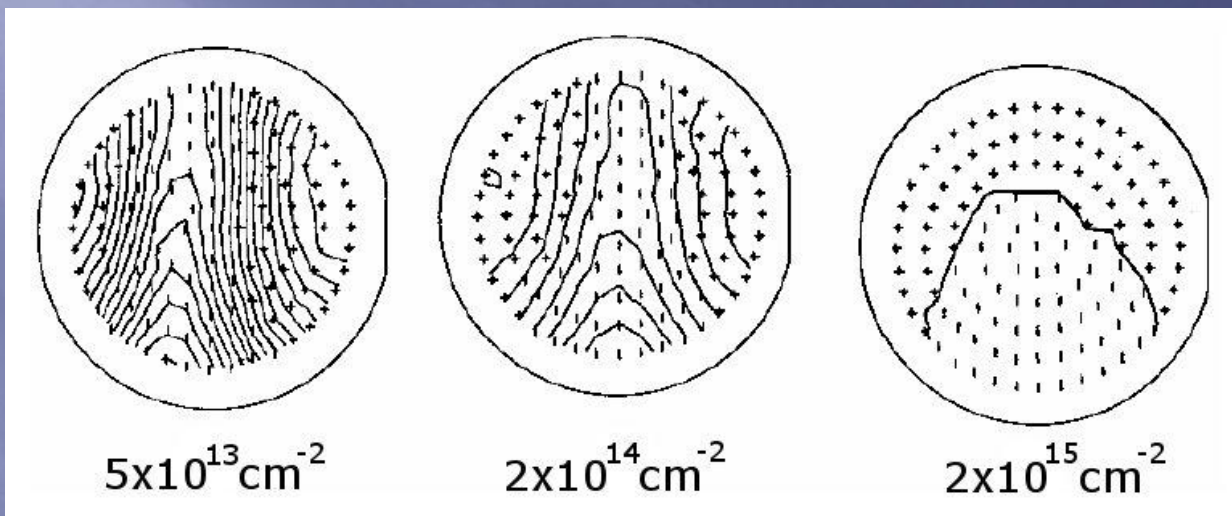
- [1] M.A. Nastasi and J.M. Mayer, *Ion Implantation and Synthesis of Materials*, Springer, 2006
- [2] L. Zhang and P.D. Townsende and P.J. Chandler, *Optical Effects of Ion Implantation*, Cambridge University Press, 2006
- [3] J.K. Hirvonen and J.M. Mayer and M.A. Nastasi, *Ion-solid Interactions: Fundamentals And Applications*, Cambridge University Press, 2004
- [4] E. Rimini, *Ion Implantation: Basics to Device Fabrication*, Kluwer Academic Pub, 1995



# Συμπλήρωμα



# Ομοιομορφία εμφύτευσης



# Μόλυνση του στόχου

---

Η εμφύτευση ιόντων είναι μια πολύ καθαρή διαδικασία επειδή η διάταξη διαχωρίζει τα ιόντα που δεν θέλουμε να εμφυτευθούν

Τι προκαλεί την μόλυνση του στόχου ?

- Τυχαία άτομα που παρασύρθηκαν από τα τοιχώματα του θαλάμου
- Στηρίγματα του δισκιδίου (wafer)
- Άτομα από τη μάσκα που έχουμε εφαρμόσει
- Άτομα από προηγούμενες εμφυτεύσεις
- Σωματίδια που έπεσαν στο δισκίδιο στην διαδικασία παρασκευής του

