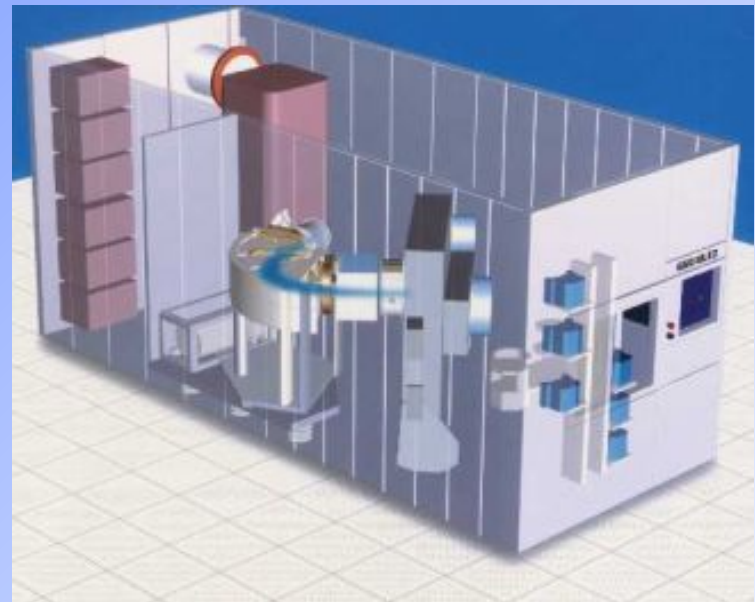


# Ionimplantáció

Monolit technika előadás



# Ionimplantáció alapok

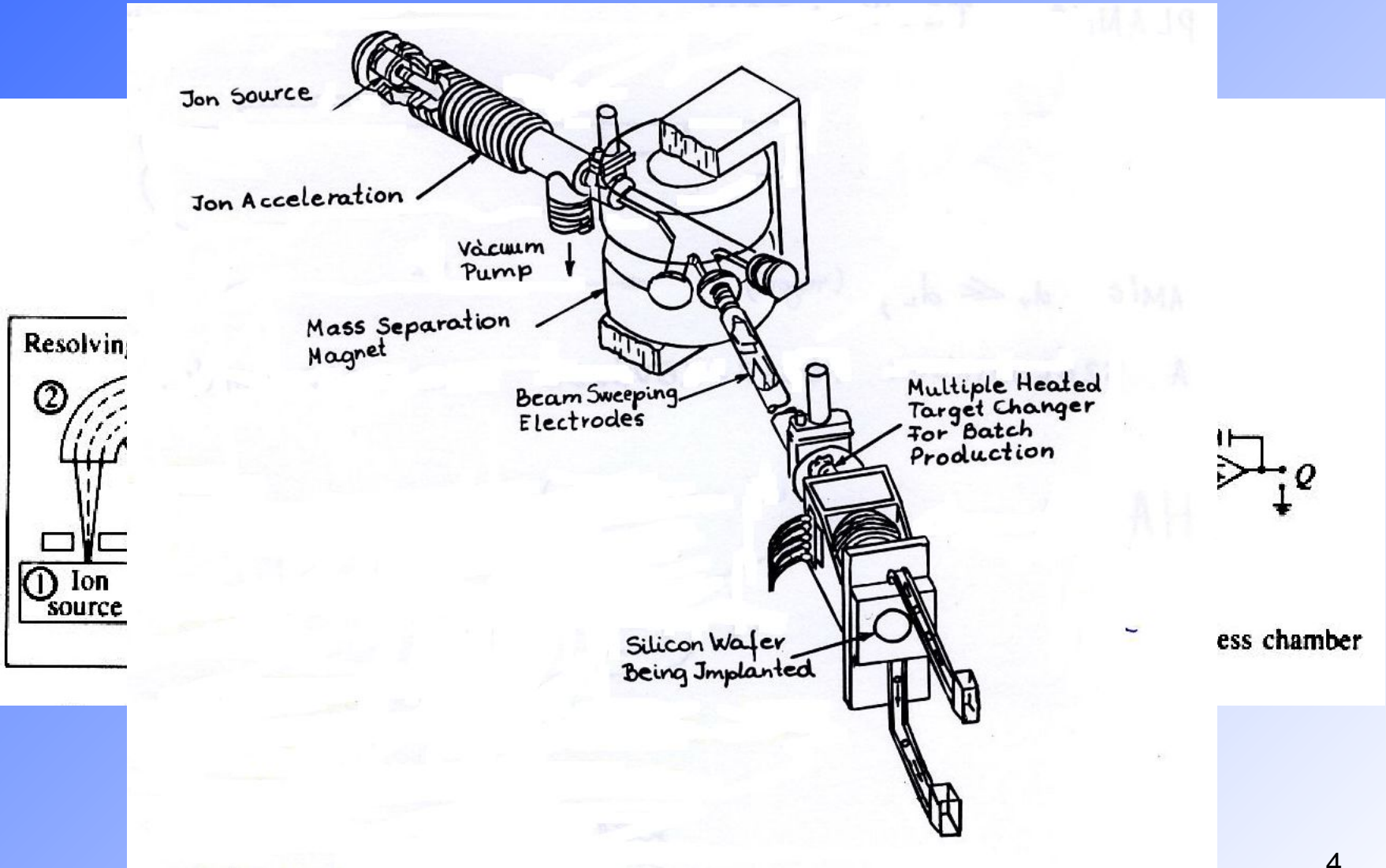
- Alapelv:
  - A kívánt adalék atomokat felgyorsított ionokként ( $B^+$ ,  $P^+$ ,  $As^+$ ) bombázzuk a félvezető szelet felszíni, felszín közeli rétegeibe
  - Vákuum technológia
  - Mind rétegnövelő, mind rétegalakító művelet
  - A diffúzióval szemben az ionimplantáció erősen nem egyensúlyi folyamat (pár keV-MeV a becsapódó ion energiája)
    - Diffúzió energiája :  $\frac{k \cdot T}{q}$ , amely 1200°C-on 0,1eV

# Az ionimplanter felépítése I.



Varian 350D ionimplanter, 4 és 6 inches szeletekhez

# Az ionimplanter felépítése II.



# Az ionimplanter felépítése III.

- A becsapódó ion energiája jól szabályozható a gyorsító feszültséggel (keV-MeV)
- Mágneses térrel hangolható  $m/q$  szelekció, ez igen tiszta technológiát tesz lehetővé
- Az ion-nyaláb képes végigpásztázni a hordozó felületét
- A target-tartó vákuum zsilipben helyezkedik el, hogy ne kelljen szelet cserénél újra leszívni az ultra nagy vákuumot (UHV)

# Ionimplanter

Ionforrás előgyorsító

10 kV

$\vec{B}$ : indukció a tömegszeperatorban

$$r \sim \frac{m}{q}$$

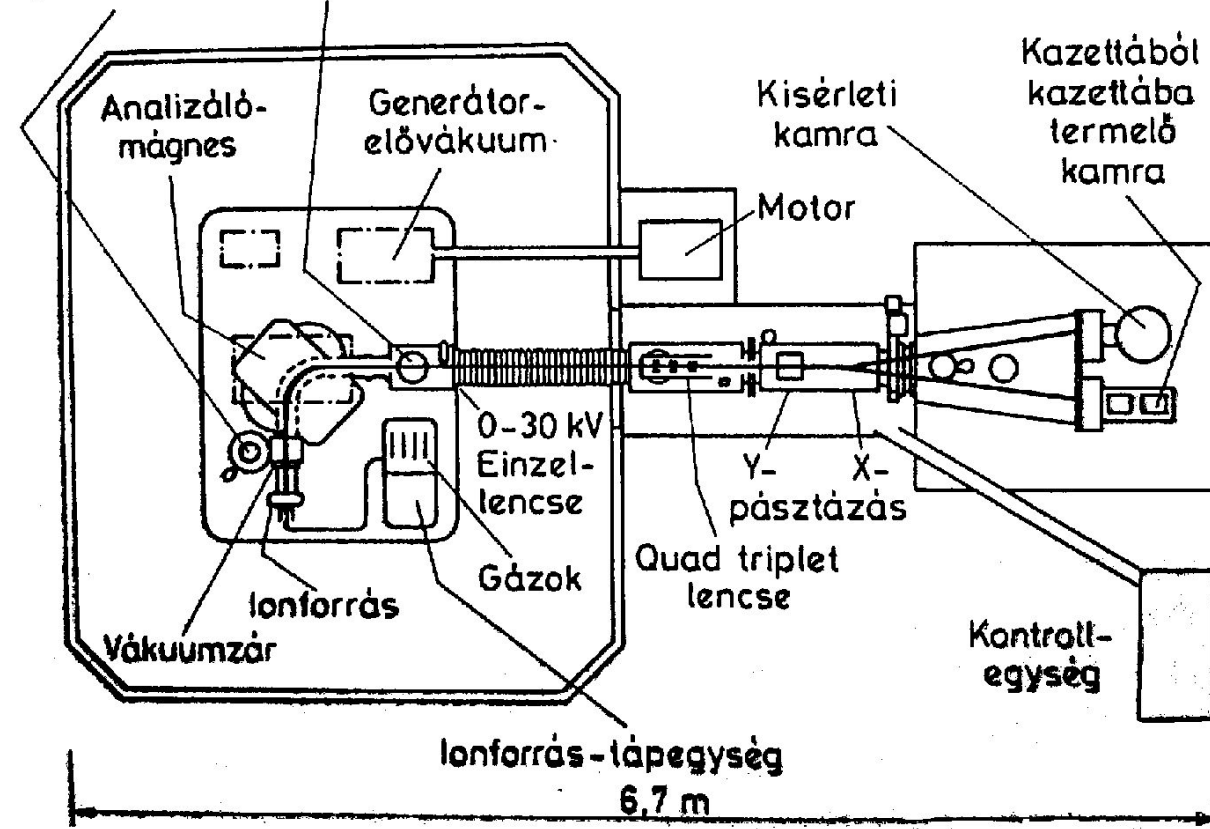
apertúra

utógyorsító

eltérítő

szelet

Turbomolekuláris szivattyú



Utógyorsító:  
100 kV-2.5 MV  
= ionenergia

# Tömegszeperator

- A mágneses tér és az ionok sebességvektora merőlegesek egymásra -> az ionok körpályára kerülnek
- A kör sugara függ az ion tömegétől

$$F = q \cdot (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = q \cdot V$$

$$\frac{m}{q} = \frac{R^2 B^2}{2V}$$

v: belépő ion sebessége

V: gyorsító feszültség

Ha kell, izotópos tisztaságot tesz lehetővé

# Belőtt ionok és a szubsztrát kölcsönhatása

- Az ionimplantáció porlasztással jár kis és közepes energiák esetén is (egy belépő ionra 5-10 porlasztott ion jut)
- Ez nagyobb dózisok és energiák esetén egyensúlyba kerülhet a részecskeárammal
- A belépő ionok fékeződését a Coulomb-erők okozzák
  - Kétféle mechanizmus:
    - Elektronfékeződés
    - Nukleáris fékeződés



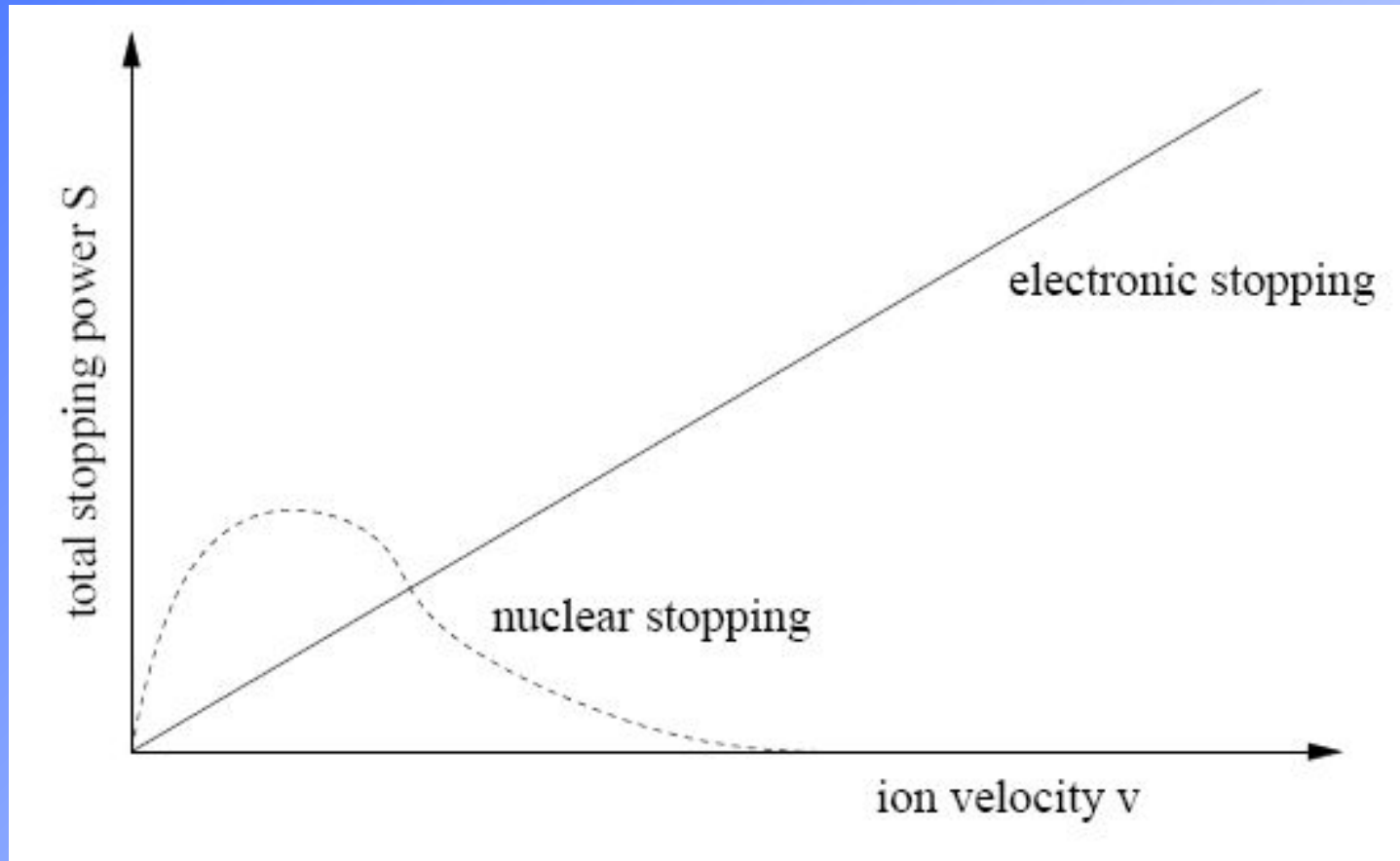
# Elektronfékeződés

- Belépő ionok és a szubsztrát atomjainak elektronfelhői közti kölcsönhatás
- A fékeződés mechanizmusa az ion pillanatnyi energiájától függ
- Ez dominál nagyobb (1 MeV-100 keV) energiákon
- „Rugalmatlan” folyamatok, azaz az ionok kinetikus energiája fény-, röntgensugárzás formájában emésződik fel
- Polarizálja a rácsot, de kevés, zömmel ponthibát kelt csak

# Nukleáris fékeződés

- Kisebb energiákon a magok közti Coulomb kölcsönhatás dominál
- „Rugalmas” ütközés, azaz képes rácsatomokat kiütni a helyéről
- Ez az energiaátadás vezet rácshibák keletkezéséhez

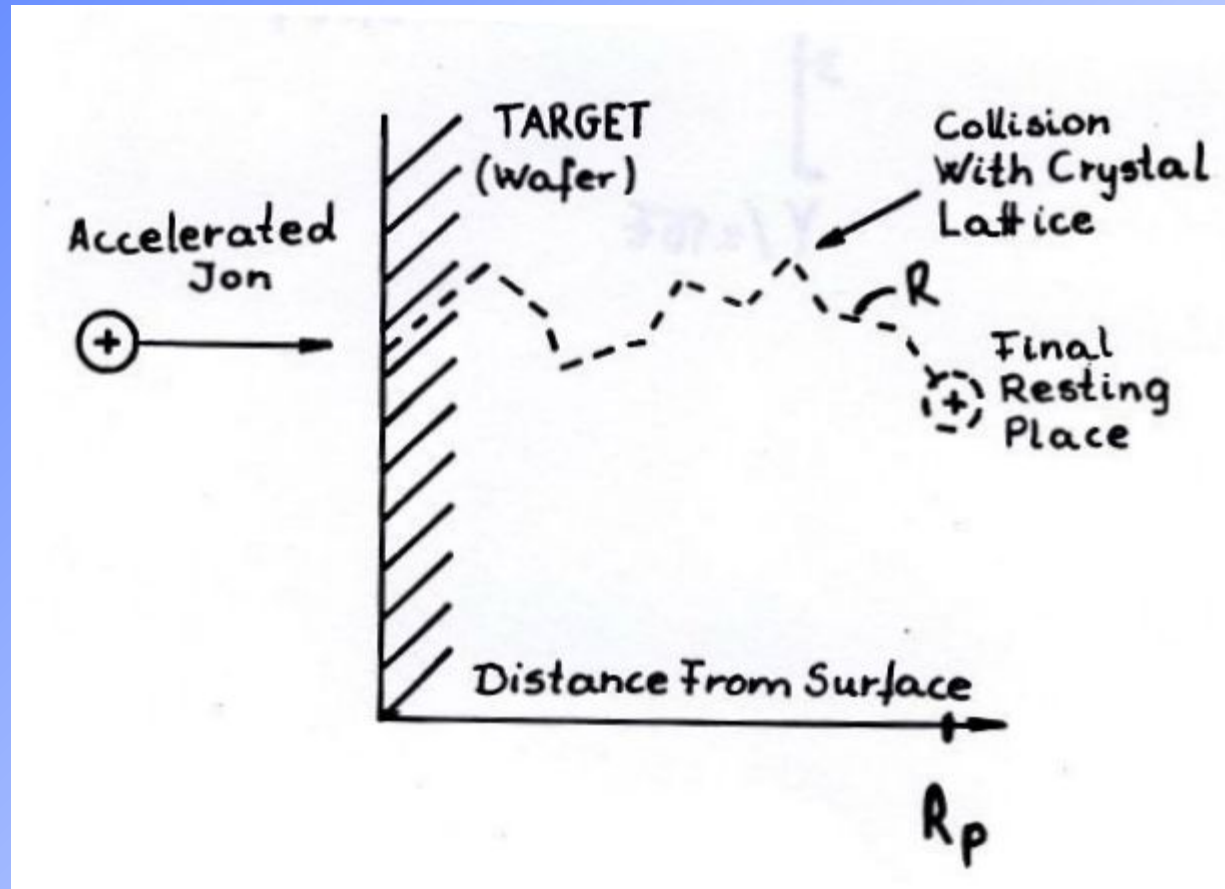
# Fékező hatások összehasonlítása



<http://www.gs68.de/tutorials/implant.pdf>

# Becsapódás

- $R$  – az ion által megtett út
- $R_p$  – a hordozó felületétől való távolság
- $R$  függ a belőtt anyag rendszámától
- Nagy rendszámú anyagba kis rendszámú lövedék:  $R \gg R_p$



# Alapfogalmak

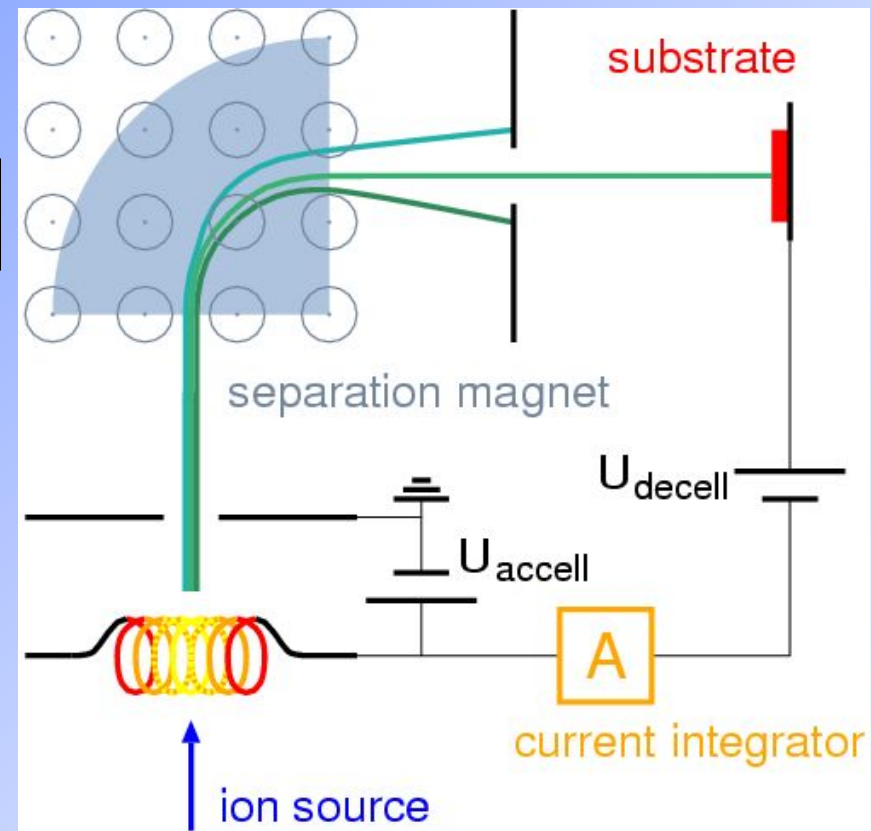
- Összes belőtt adalék:  $\frac{1}{A} \int_0^t I_i(t) dt = q \int_0^{x_j} N(x) dx$

- Dózis:

$$\Phi = \frac{I \cdot t}{q \cdot A} = \int_0^{\infty} N(x) dx \quad \left[ \frac{1}{\text{cm}^2} \right]$$

- Energia → Gyorsító  
feszültség [eV]

Gummel -szám



# Adalékeloszlás

- A folyamatokat az implantált ion rendszáma a gyorsító energia és a szubsztrátot alkotó elem rendszáma befolyásolja
- A becsapódó ionok átlagos mélységben, normális eloszlás szerint kerülnek nyugalmi állapotba

$$N(x) = \frac{\Phi}{\sqrt{2\pi} \cdot \Delta R_p} \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{x - R_p}{\Delta R_p} \right)^2 \right]$$

Maximum:  $R_p$

Szórás:  $\Delta R_p$

# $R_p$ és $\Delta R_p$ meghatározása I.

- LSS elmélet (Lindhard, Scharff, Schiøtt)
  - Mitől áll meg az ion és hol?

$$\frac{dE}{dx} = S_n(E) + S_E(E)$$

Atomokkal való kölcsönhatás

Elektronokkal való kölcsönhatás

# $R_p$ és $\Delta R_p$ meghatározása II.

$$S_e(E) = k_e \sqrt{E}$$

$$R = \int_0^{E_0} \frac{dE}{S_n(E) + S_e(E)} \longrightarrow R [\text{nm}] = \frac{13E [\text{keV}]^{1 + \frac{M_2}{M_1}}}{\rho Z_1^{2/3}}$$

$$R_p = \frac{R}{\frac{M_2}{3M_1} + 1}$$

$M_1$ : Implant atomtömege

$M_2$ : Target atomtömege

$Z_1$ : Implant rendszáma

$\rho$ : Target sűrűsége

$$\Delta R_p = \frac{2}{3} R_p \frac{\sqrt{M_1 M_2}}{M_1 + M_2}$$

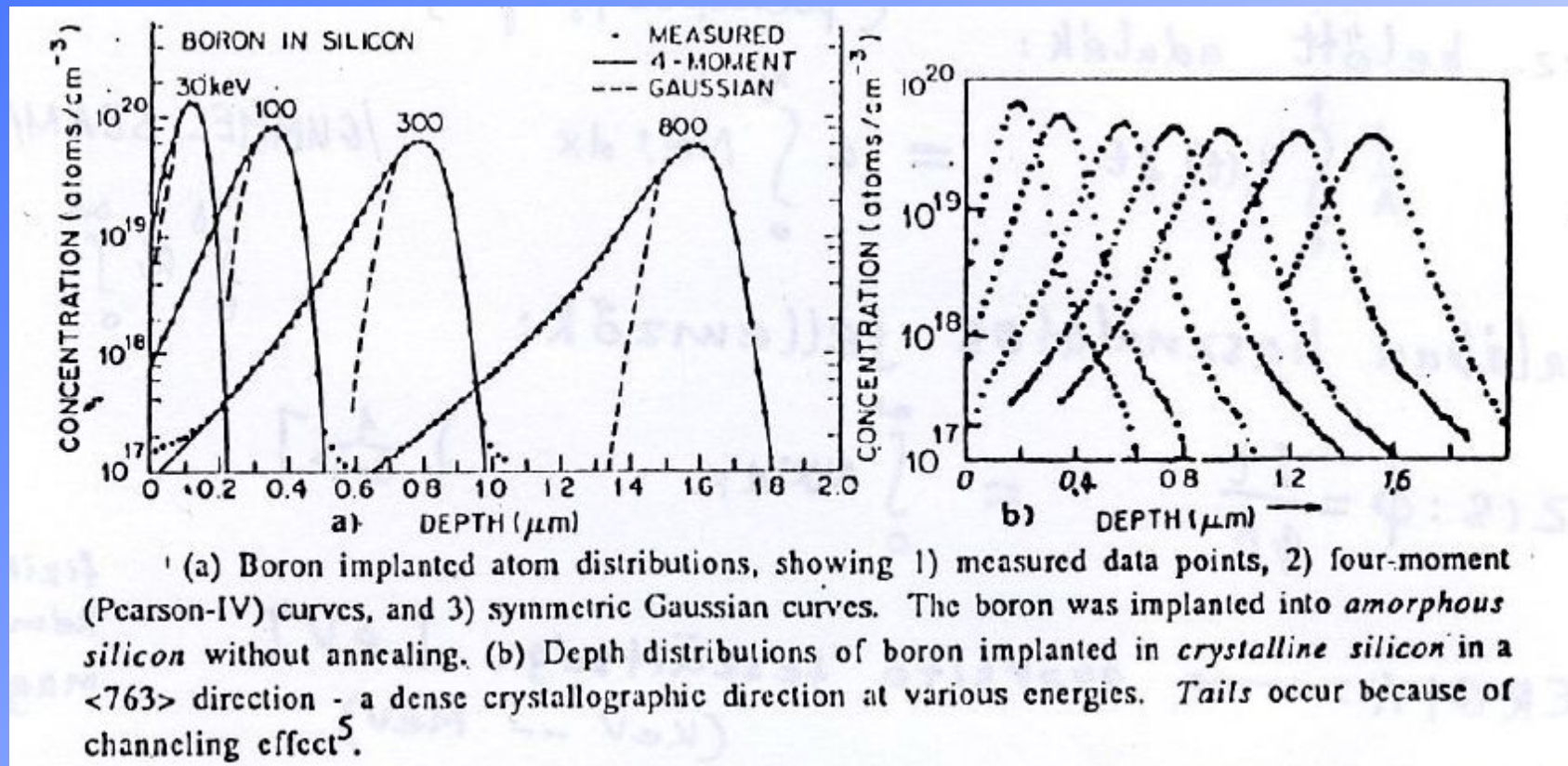
Ha  $M_1 \gg M_2$ , akkor  $R \approx R_p$



# Bór ionok eloszlása Si hordozóban

Amorf Si

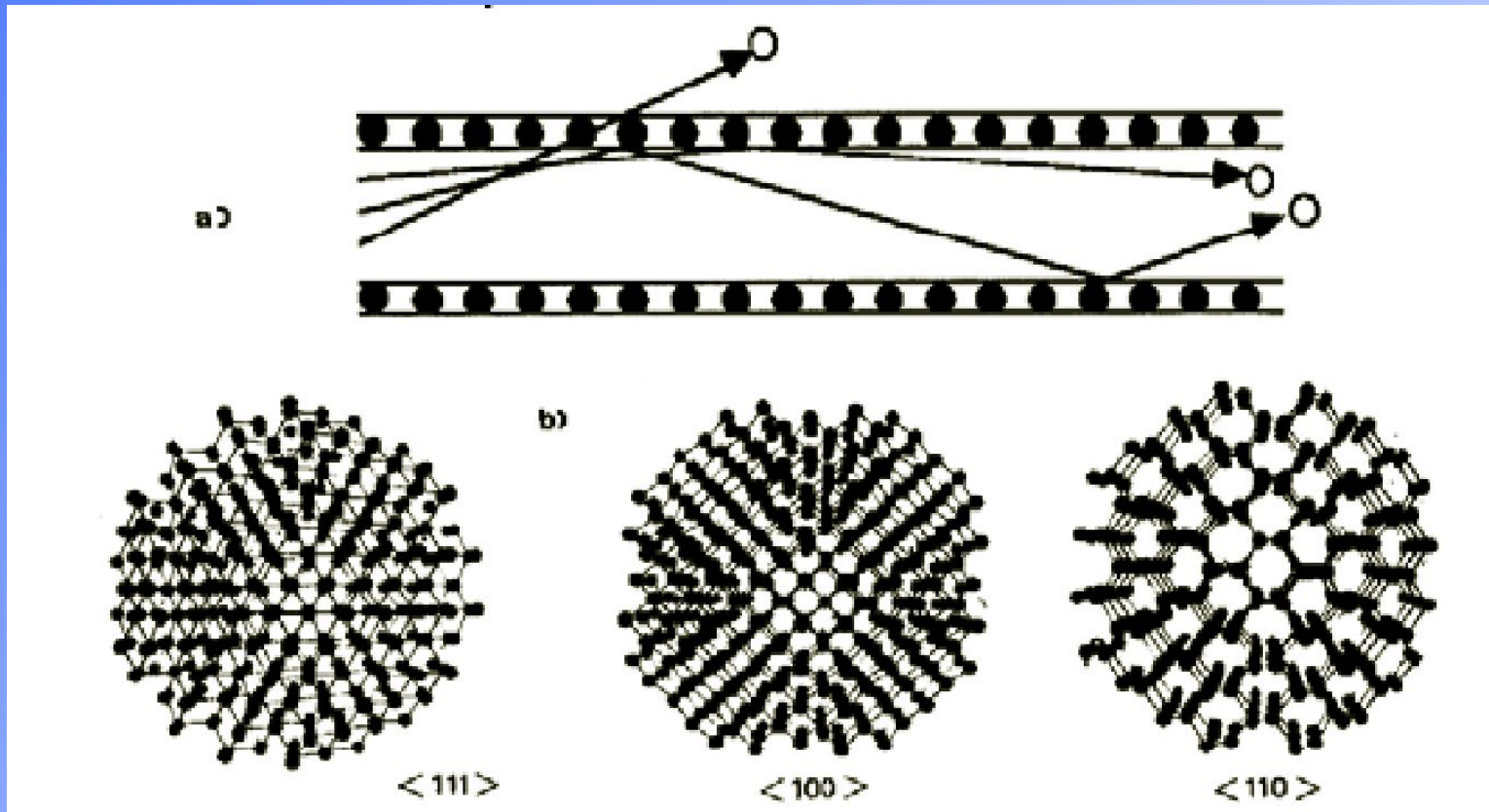
Si-ba <763> irányból löve



Si-ba <763> irányból lönek, mivel innen tűnik a legrendezetlenebbnek

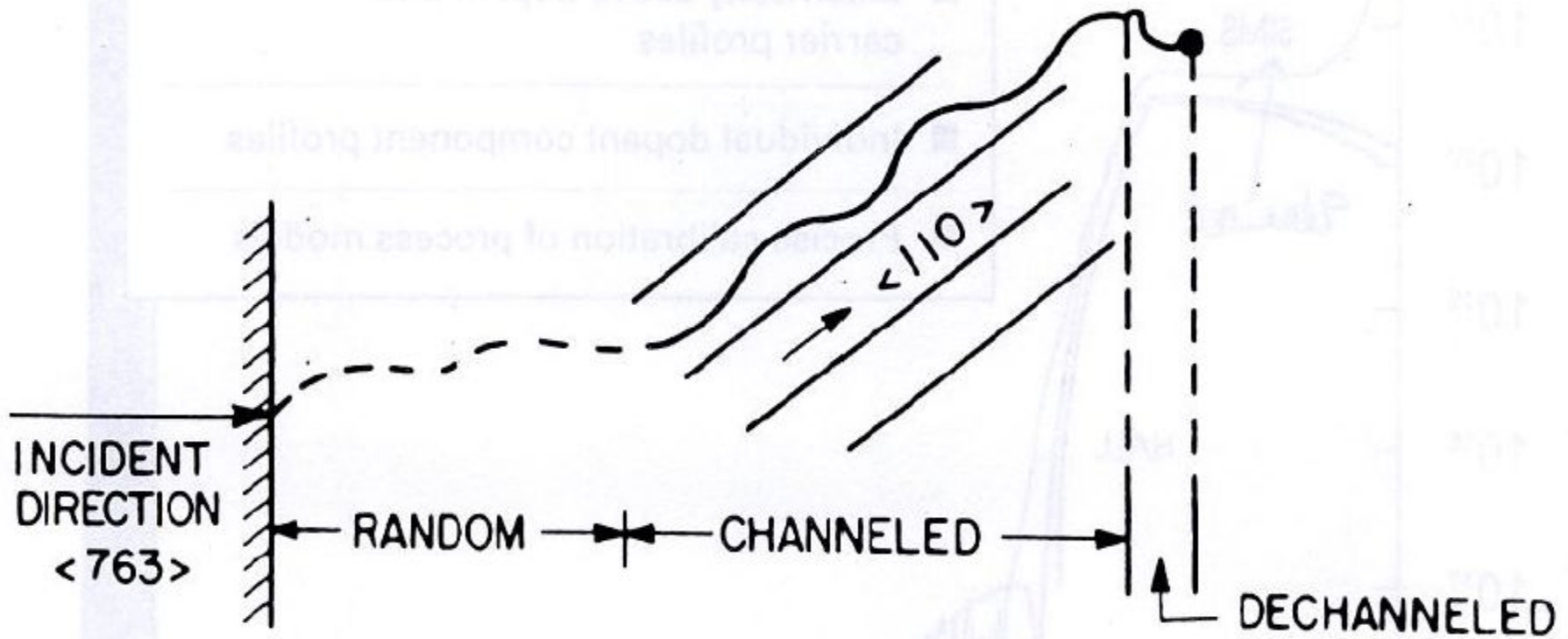
# Csatorna hatás I.

- Az ionimplantációval pontos adalékeloszlás hozható létre, azonban egyes adalék ionok eltévedhetnek, és esetleg mélyebbre jutnak, mint szeretnénk.



Gyémántrács különböző irányokból

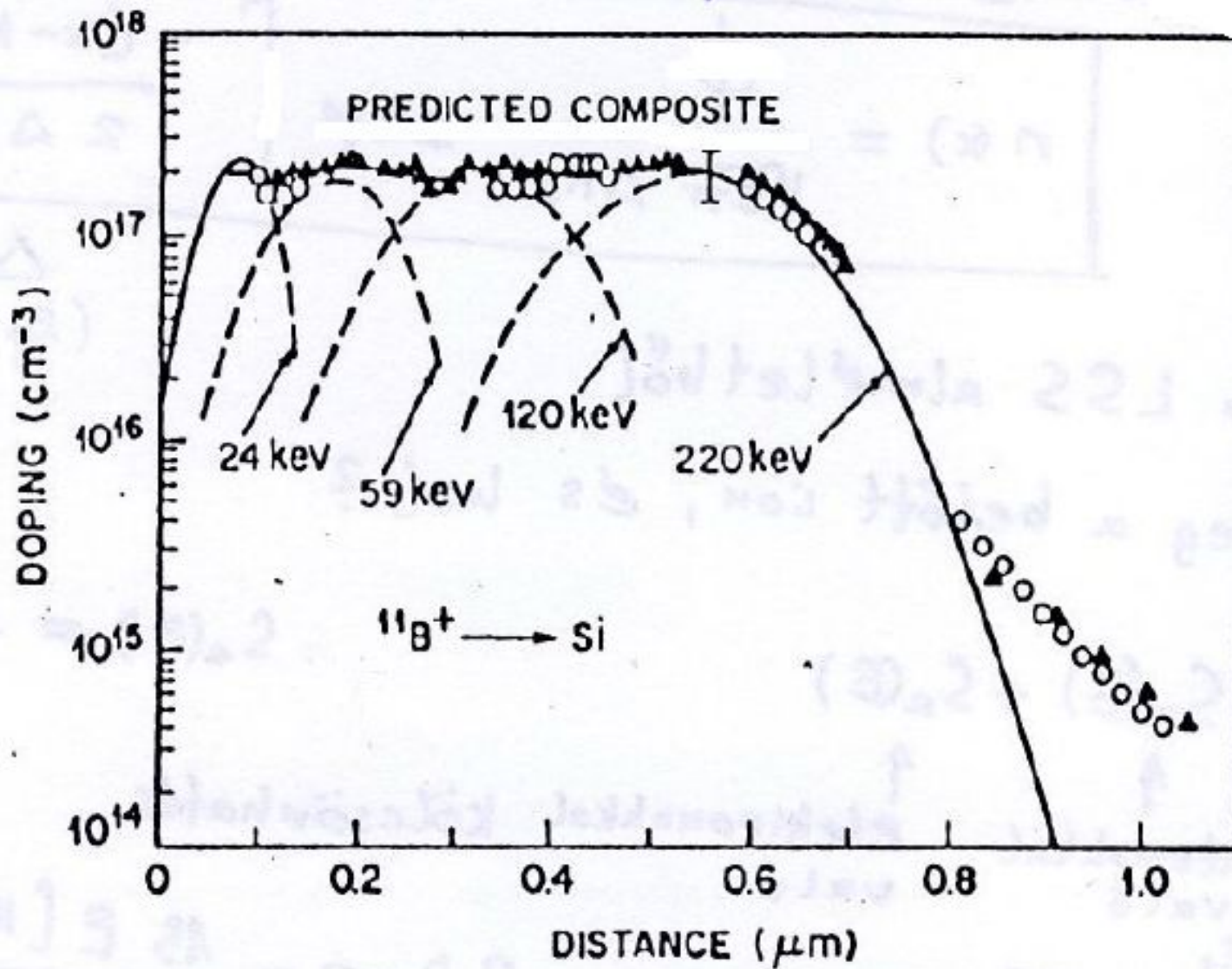
# Csatorna hatás II.



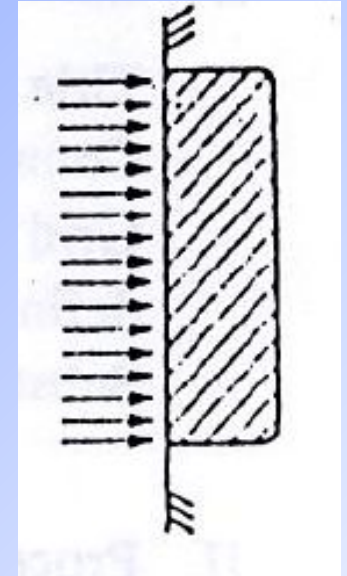
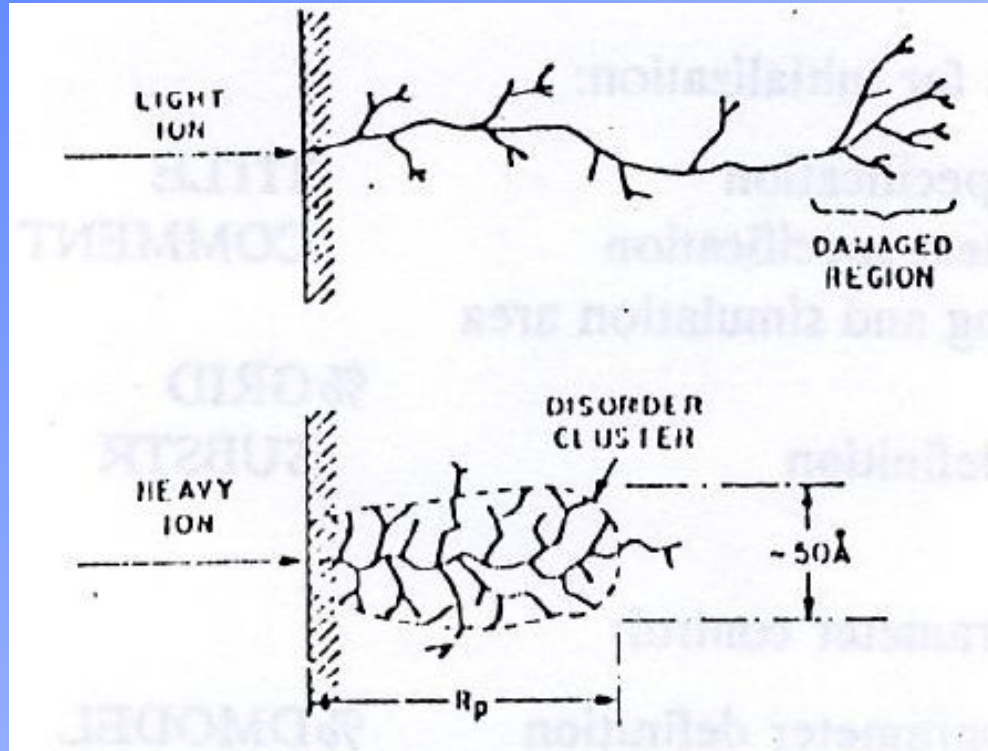
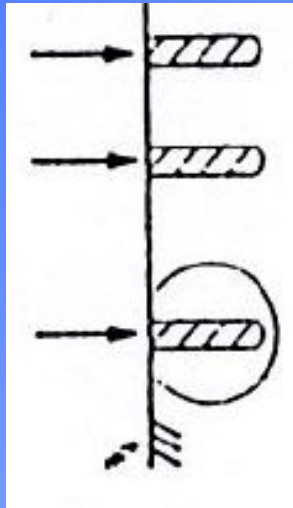
# Csatorna hatás elkerülése

- A szelet pozicionálása (döntés és csavarás)
- Amorf vékony oxid réteg növesztése (200-250Å)
- A kristály amorffá tétele implantációval (Pl. Si implantálás Si hordozóba)
- A kristály amorffá tétele nagy dózissal, nagy tömegű atomokkal (As)

# Több implant egymás után



# Kaszkádok, sérült tartományok és amorfizáció



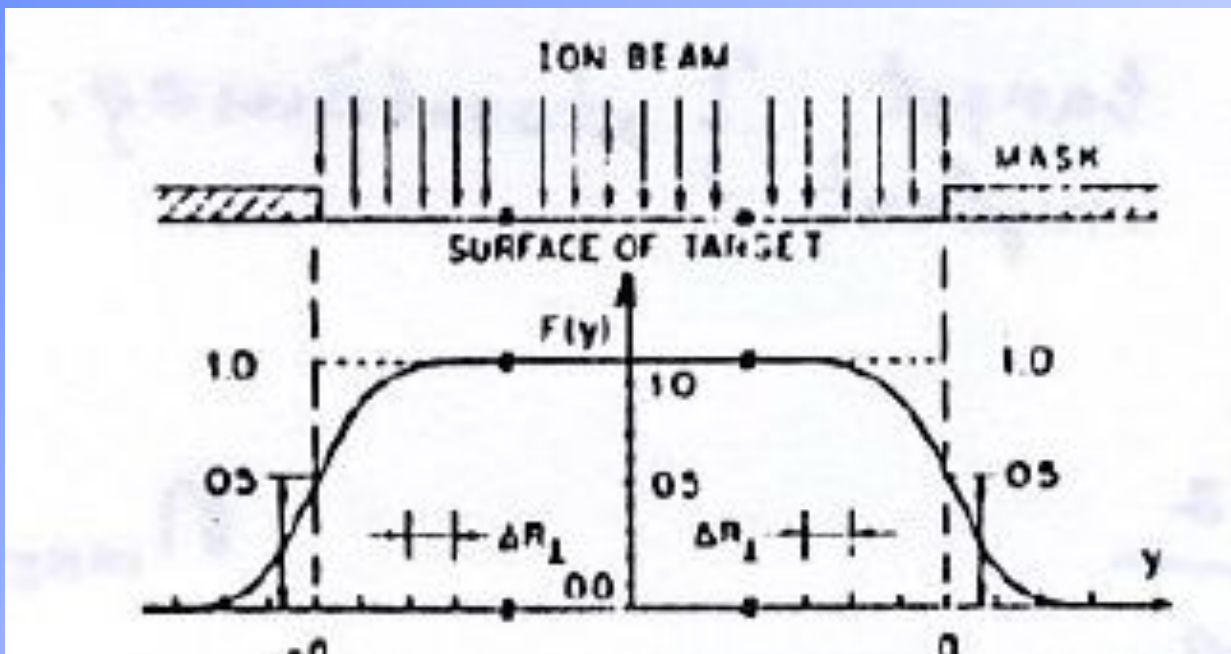
Hőkezelés: „szilárd fázisú epitaxia”

# Hőkezelés

- Alkalmas az implantáció okozta roncsolás (kristályhibák) kijavítására
- Már 700-800°C-on is újra rendeződik az egykristály szerkezet
- A hőkezelésnek összhangban kell lennie az egyéb technológiai lépésekkel (Pl. ne indítson el egy diffúziós folyamatot)

# Maszkolás I.

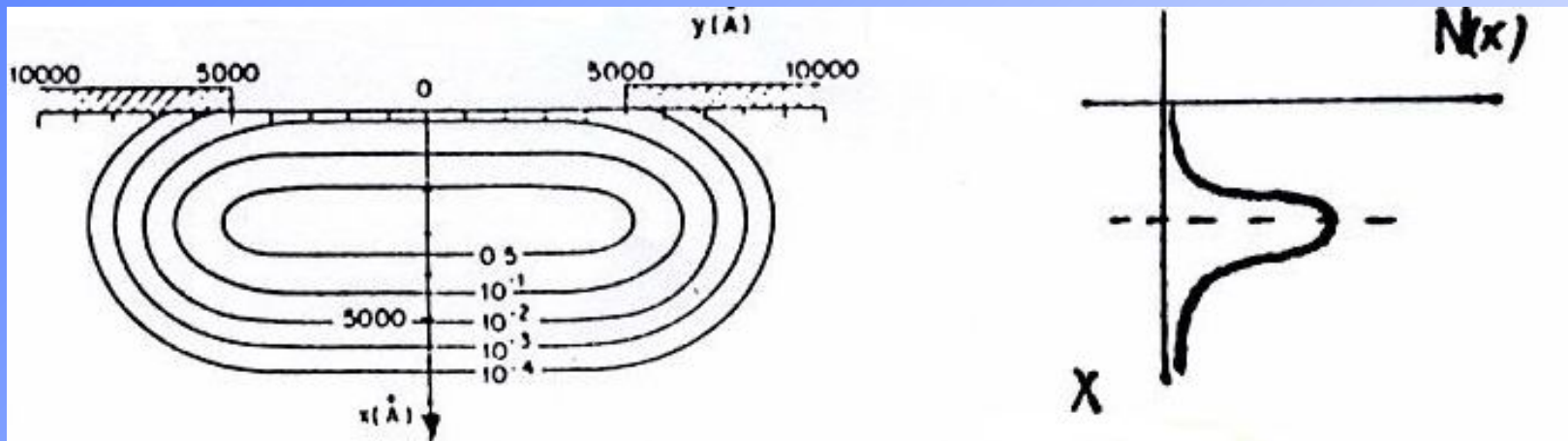
- Fotoreziszt használható maszknak
- Szemben a diffúzióval, ahol a felület közelében mindig nagyobb a koncentráció, itt elérhető, hogy a felületen kisebb, míg beljebb nagyobb legyen ~ tetszőleges profilok készíthetők
- Oda kell figyelni az alászóródásra





# Maszkolás II.

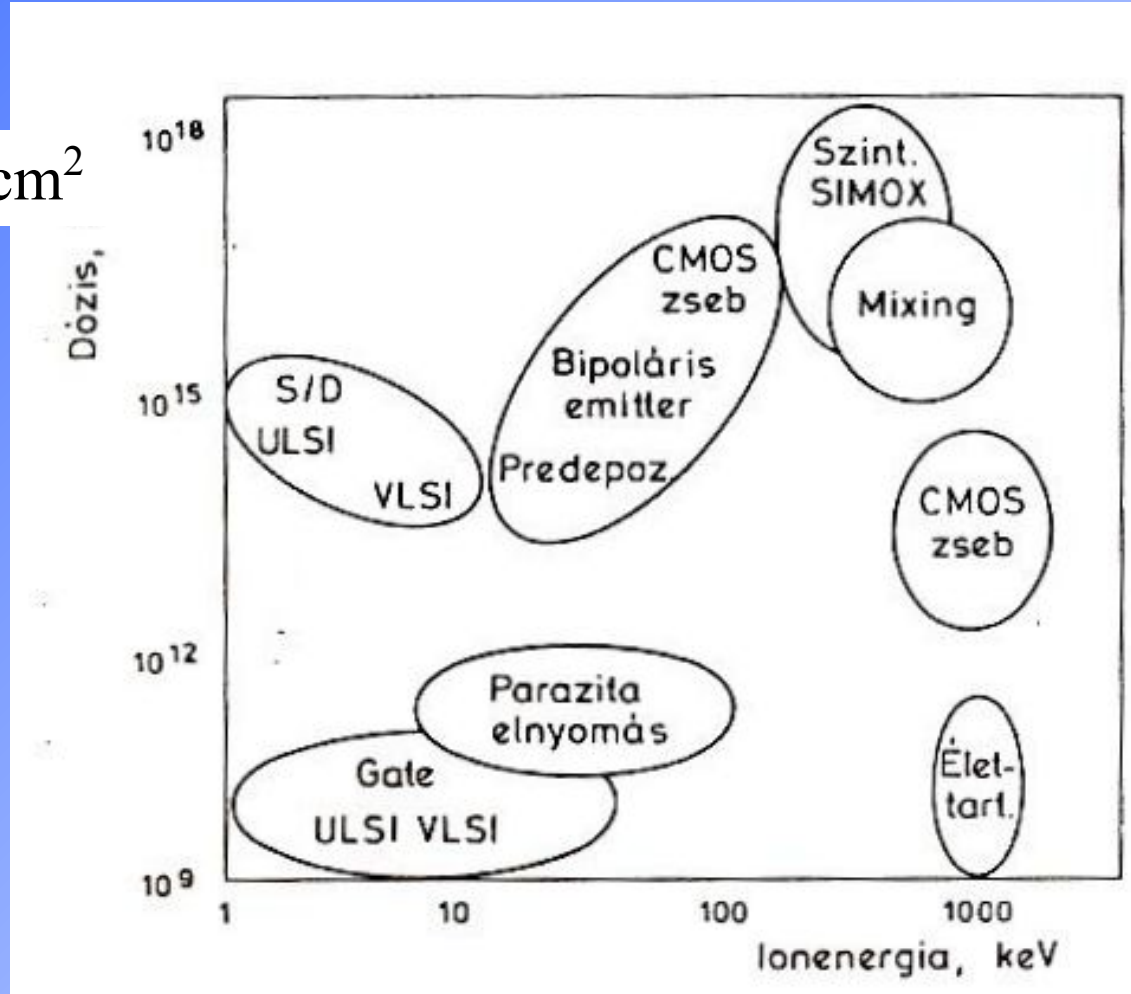
- A legnagyobb koncentráció nem a felszínen van
- Következő lépésként diffúzióval beljebb hajthatjuk az adalékot



Ionimplantációval kialakított adalékprofil

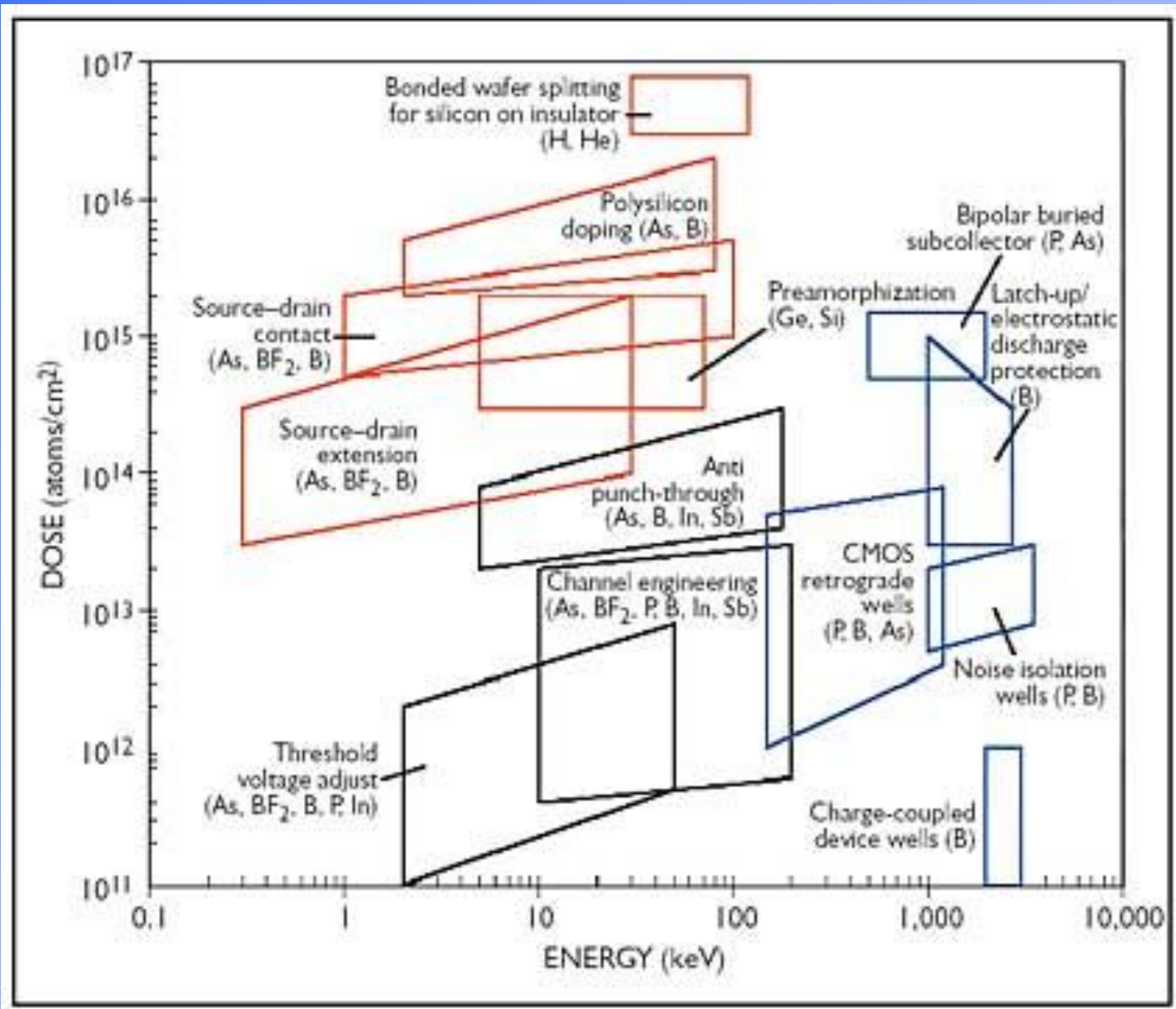
# Ionimplantáció félvezető-technológiai alkalmazása

$1/\text{cm}^2$



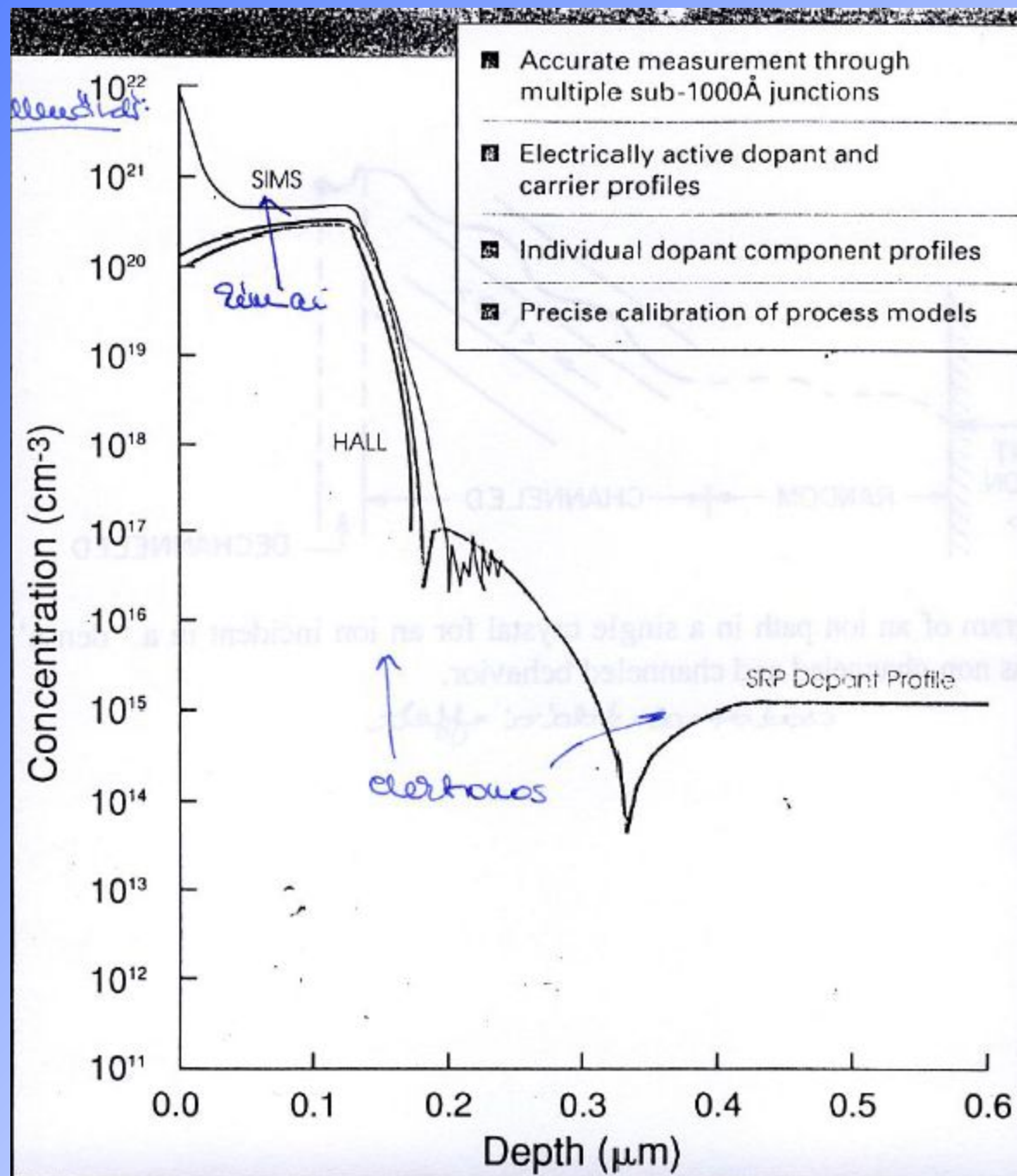
Az egyéb alkalmazások - mint pl. a fémek, kerámiák kopásállóságának javítása – a 10 ... 100keV,  $10^{21}$  ...  $10^{22}$  ion/m<sup>2</sup> tartományba esnek, míg a polimerek kezelése az ún. mixinggel van nagyjából fedésben.

# Ionimplantáció félvezető-technológiai alkalmazása



Mellékjelenség:  
nem minden  
implantált atom  
aktív  
elektromosan

Következmények: később  
jönnek elő



# Előnyök

- Nagyon pontos
- Kis oldalirányú szóródás
- Tömeg szeparáció lehetséges
- Utólag is lehetséges új réteg létrehozása
- Meredek adalékprofil hozható létre
- Alacsony hőmérsékleten végezhető
- A vákuum miatt igen tiszta eljárás
- Az egyensúlyi technológiákhoz képest nagyobb koncentráció is létrehozható

# Hátrányok

- A rácsszerkezet rongálódik
- Nehéz atomokkal csak sekély implantáció valósítható meg
- Alacsonyabb termelékenység, mint diffúzióval
- Drága, bonyolult berendezések
- Veszélyes üzemeltetés

# RBS spektroszkópia

"It was as though one fired a bullet at a piece of paper, and it bounced back at you!" - Ernest Rutherford

- Rutherford backscattering
  - Egy hordozóban különféle elemek meghatározása a mélység függvényében
  - 2-4 MeV-os kis tömegű ( $\text{He}^{++}$ ) ionsugárral bombázzák a mintát
  - Egy detektor összegyűjti a közel  $180^\circ$ -ban visszaverődő ionokat
  - Ezeknek az energiája függ a kezdeti energiától, és a részecske tömegétől, amiről visszaverődtek
    - Az energia mértéke, amit elnyel a vizsgált atom, a két részecske tömegének az arányától függ
  - Meghatározhatjuk a minta kémiai összetételét

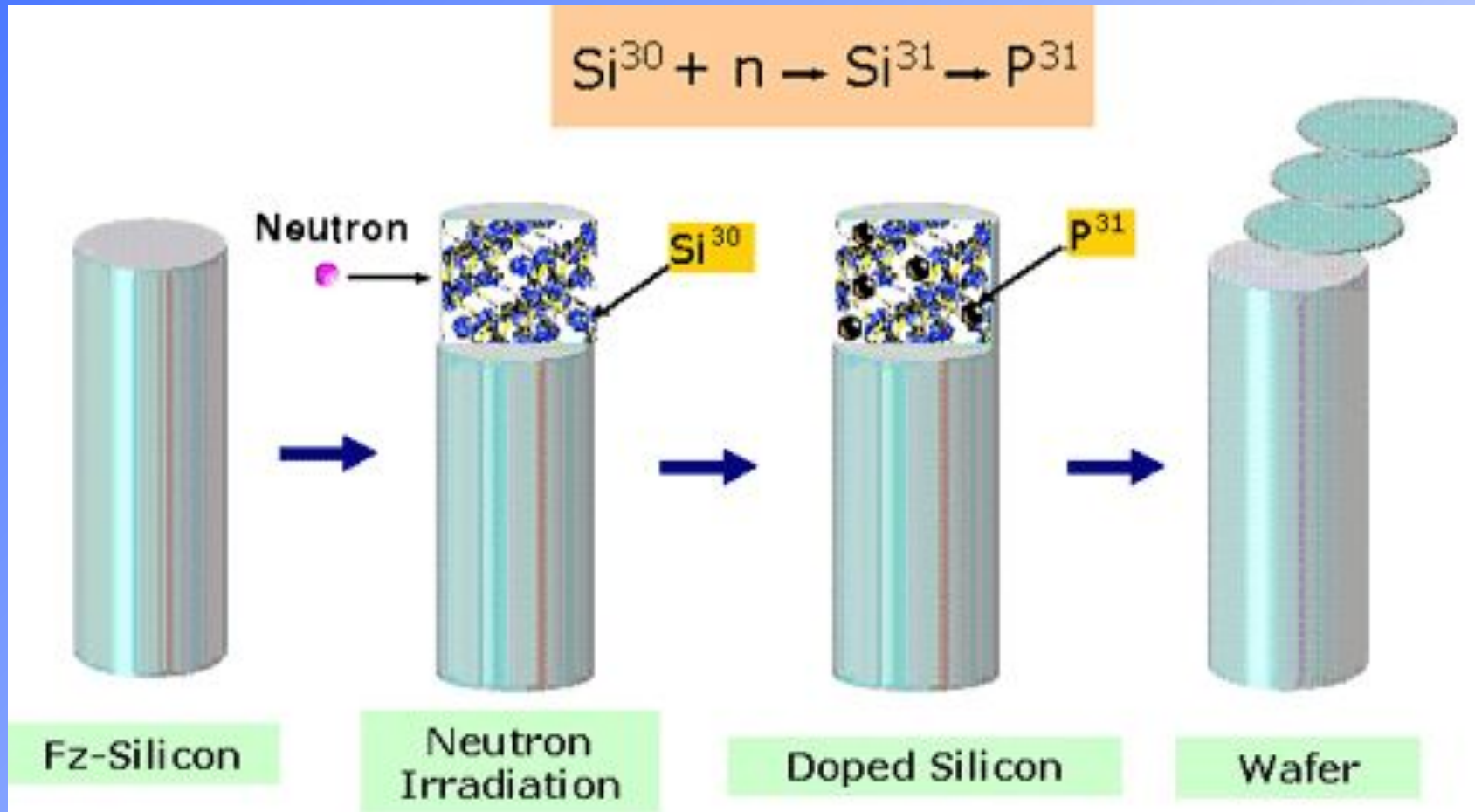
# Források

- Dr. Mojzes Imre: Mikroelektronika és elektronikai technológia
- <http://www.vsea.com/pubs.nsf/home>
- <http://www.casetechnology.com/links.html>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Ion\\_implantation](http://en.wikipedia.org/wiki/Ion_implantation)
- <http://www.gs68.de/tutorials/implant.pdf>
- [http://en.wikipedia.org/wiki/Rutherford\\_backscattering](http://en.wikipedia.org/wiki/Rutherford_backscattering)



# Adalékolás neutronsugárzással

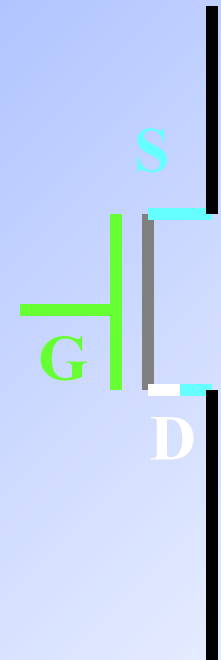
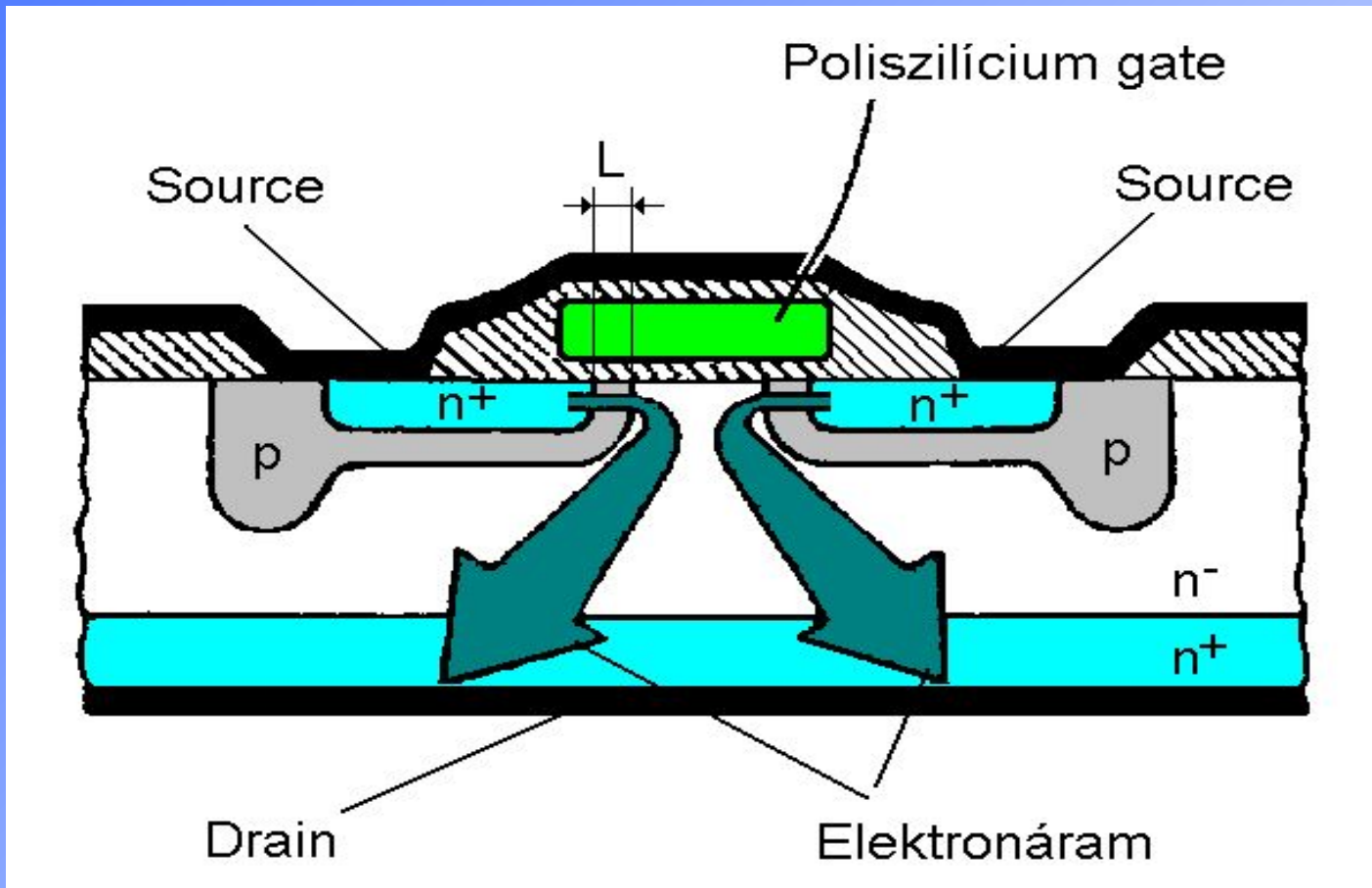
NTD (neutron transmutational doping)



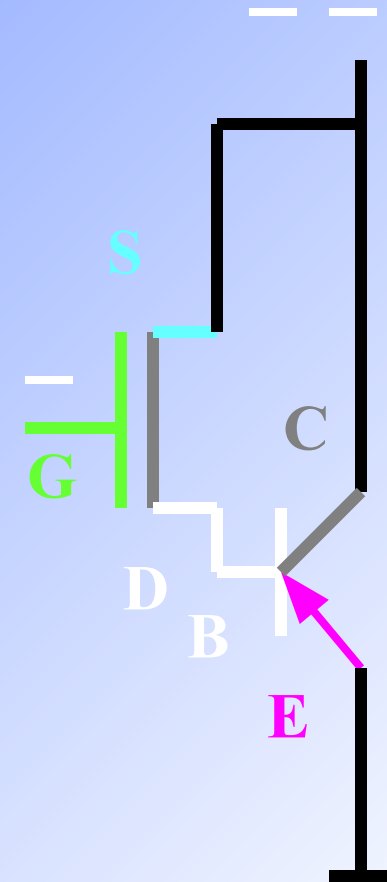
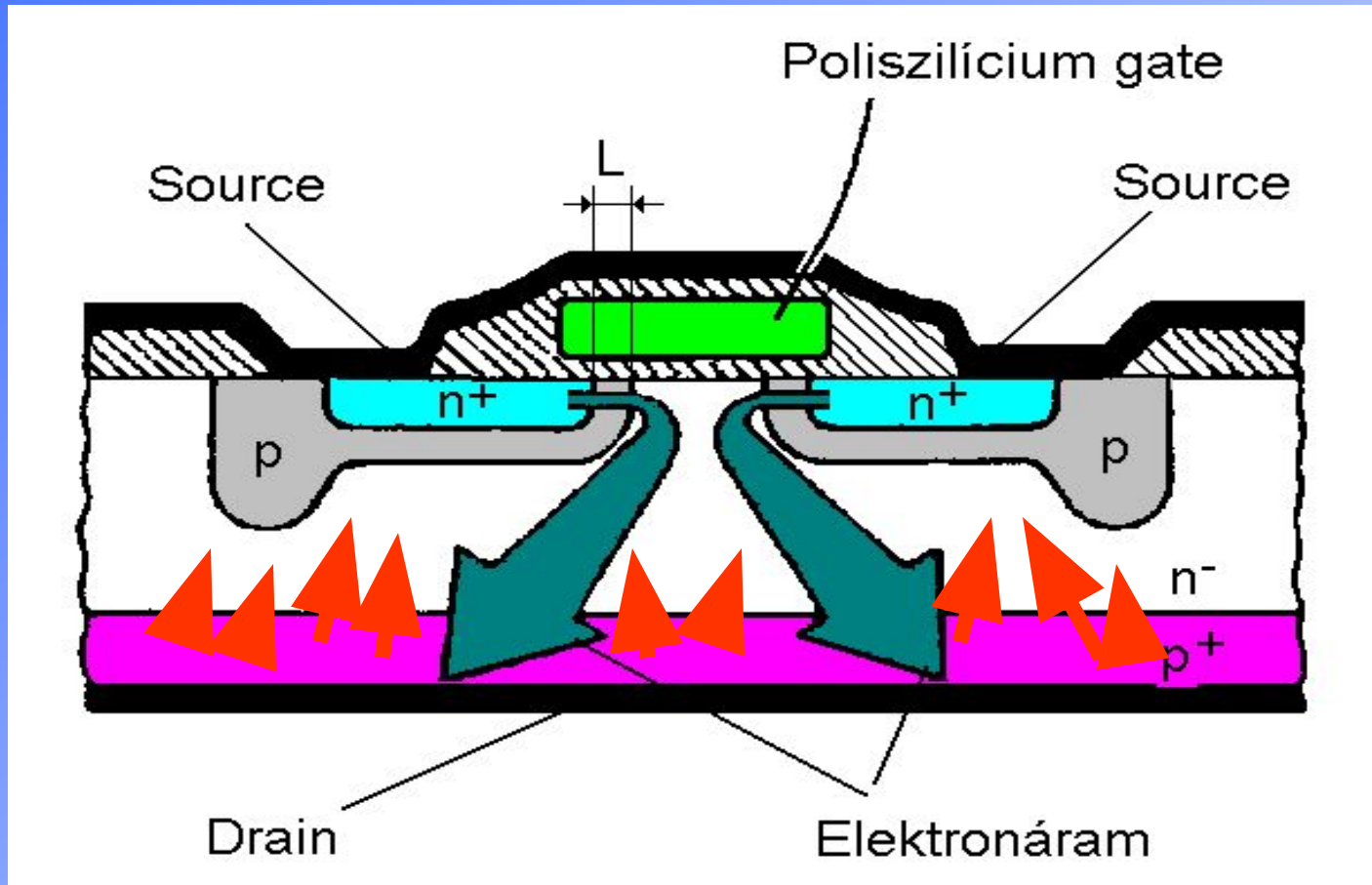
IGBT, teljesítmény eszközök: kicsi adalékolás, de pontos -> nagy letörési feszültség

# Teljesítmény MOS tranzisztorok

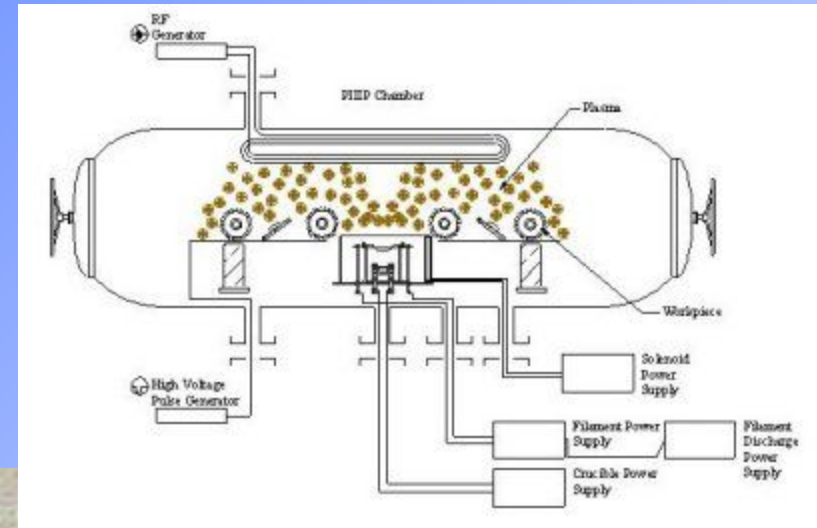
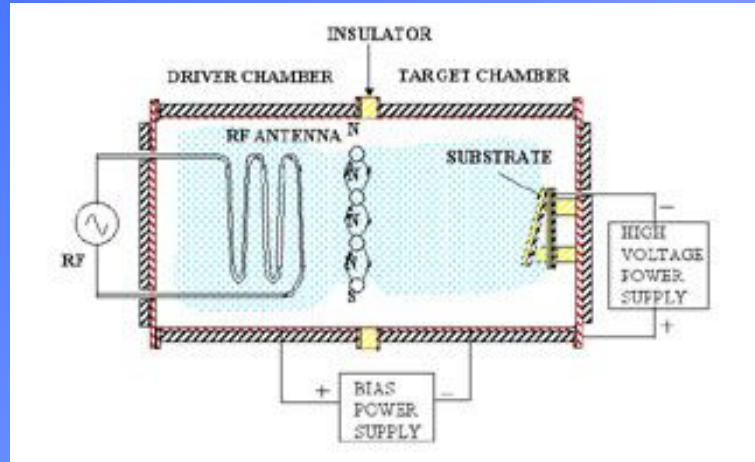
## A DMOS (TMOS) szerkezet



# IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) Szigetelt vezérlőelektródájú bipoláris tranzisztor



# Implantálás plazma immerzióval



direct [ion](#) implantation from a [plasma](#) ambient

# Változatok plazma immerzióra

