

Osnove elektronike

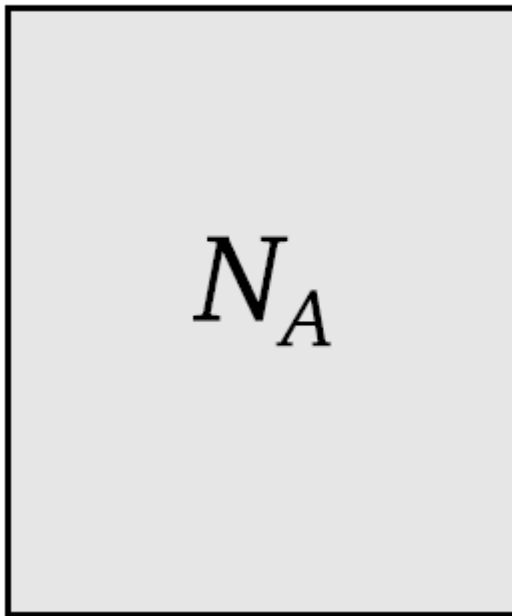
III semestar

PN SPOJ

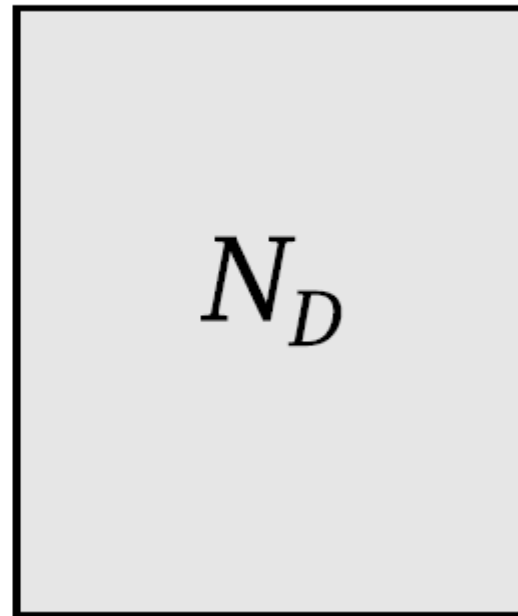
PN spoj u misaonom eksperimentu

PN spoj u misaonom eksperimentu se pravi od dva komada silicijuma koji su uniformno dopirani akceptorskim i donorskim primesama koncentracija N_A i N_D , respektivno, pri čemu smatramo da je $N_A > N_D$.

silicijum p -tipa



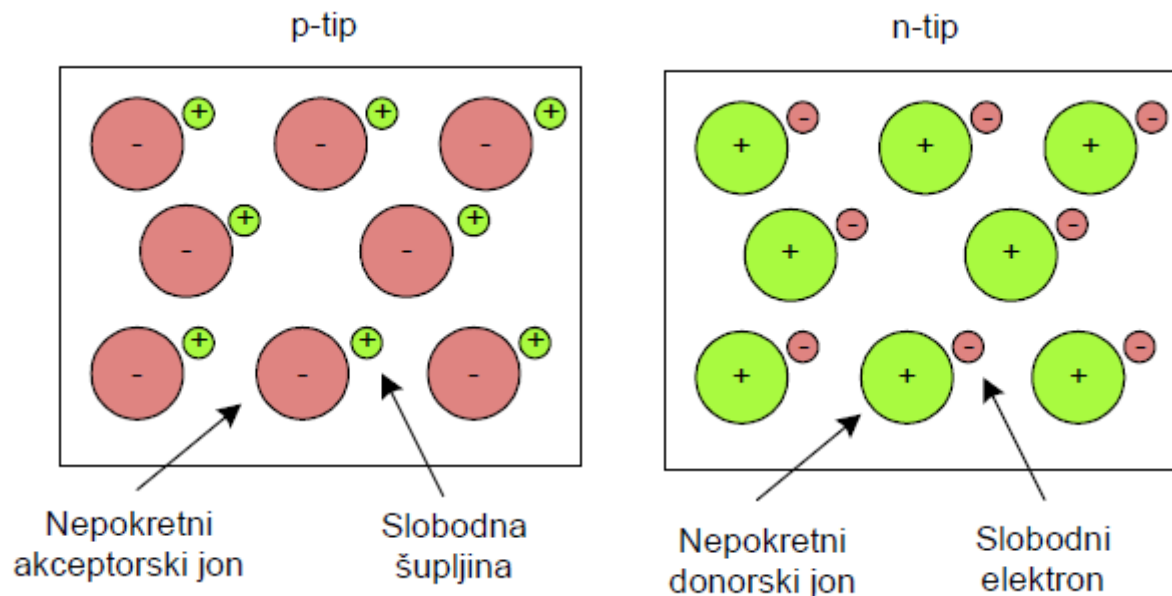
silicijum n -tipa



PN spoj pre formiranja

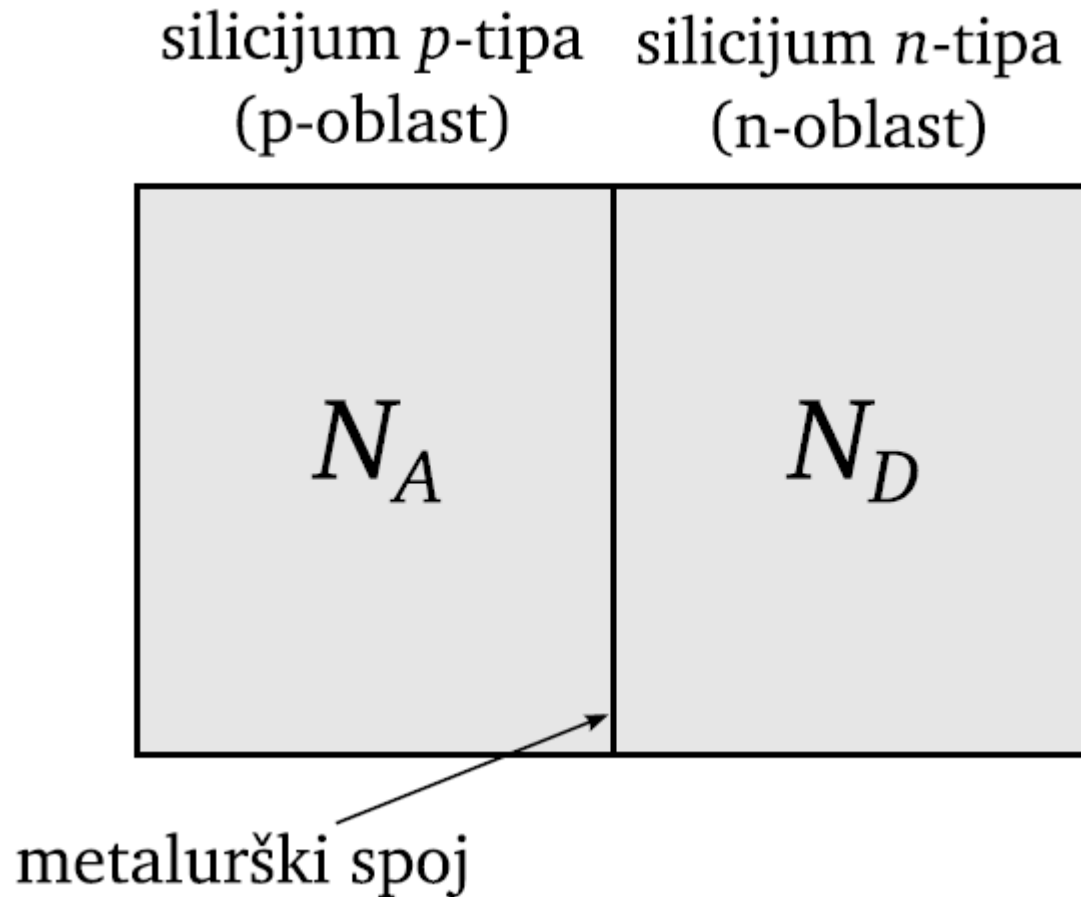
p-tip poluprovodnika pre formiranja pn spoja ima nepokretne akceptorske jone i slobodne šupljine.

n-tip poluprovodnika pre formiranja pn spoja ima nepokretne donorske jone i slobodne elektrone.

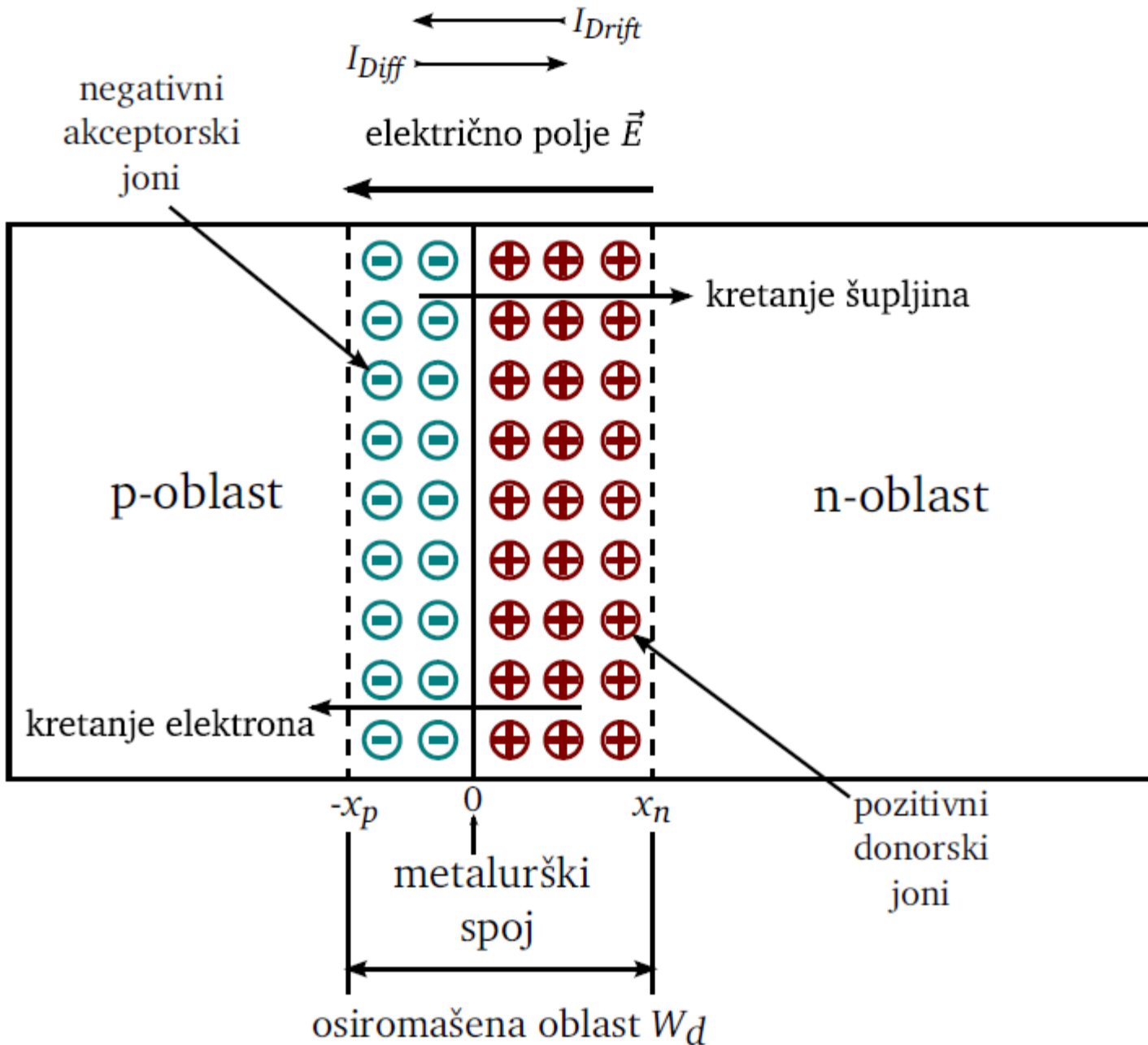


Metalurški spoj

Metalurški spoj predstavlja liniju dodira između silicijuma p-tipa i silicijuma n-tipa.



Oblast prostornog tovara



Prelazak elektrona iz n-tipa u p-tip poluprovodnika (pp)

- ❖ Elektroni iz n-tipa pp difuzijom prelaze u p-tip pp, pošto je koncentracija elektrona u n-tipu pp veća nego u p-tipu pp.
- ❖ Elektroni koji su prešli iz n-tipa pp u p-tip pp ostavljaju za sobom pozitivno naelektrisane donorske jone u n-tipu pp.
- ❖ Elektroni koji su prešli iz n-tipa pp u p-tip pp se rekombinuju sa šupljinama u p-tipu pp, i time nastaju negativno naelektrisani akceptorski joni u p-tipu pp.
- ❖ Prelazak elektrona iz n-tipa pp u p-tip pp pravi difuzionu struju elektrona.

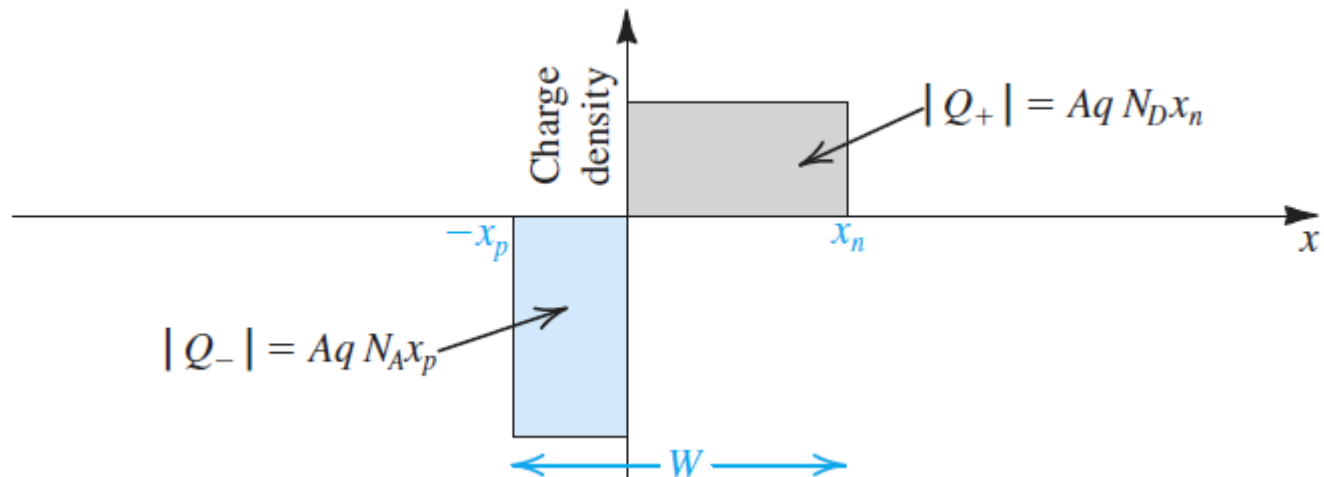
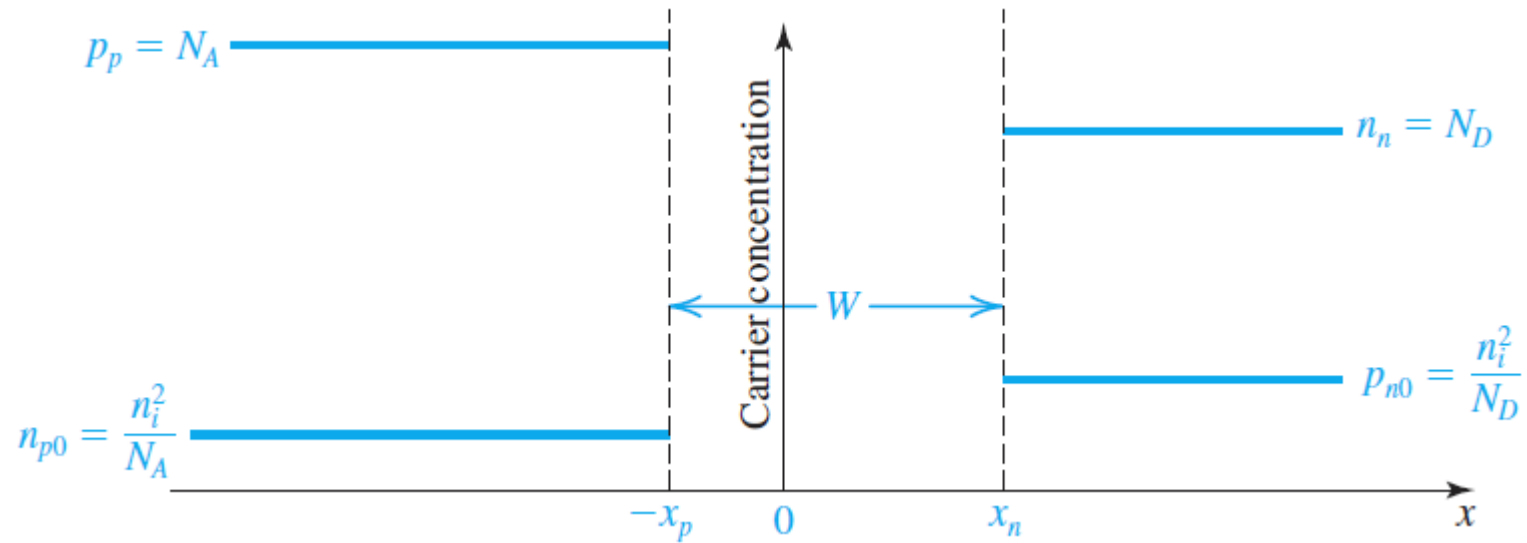
Prelazak šupljina iz p-tipa u n-tip poluprovodnika (pp)

- ❖ Šupljine iz p-tipa pp difuzijom prelaze u n-tip pp, pošto je koncentracija šupljina u p-tipu pp veća nego u n-tipu pp.
- ❖ Šupljine koje su prešle iz p-tipa pp u n-tip pp ostavljaju za sobom negativno naelektrisane akceptorske jone u p-tipu pp.
- ❖ Šupljine koje su prešle iz p-tipa pp u n-tip pp se rekombinuju sa elektronima u n-tipu pp, i time nastaju pozitivno naelektrisani donorski joni u n-tipu pp.
- ❖ Prelazak šupljina iz p-tipa pp u n-tip pp pravi difuzionu struju šupljina.

Oblast prostornog tovara

- ❖ Pozitivno naelektrisani donorski joni u n-tipu pp su nepomični unutar kristalne rešetke.
- ❖ Negativno naelektrisani akceptorski joni u p-tipu pp su takođe nepomični unutar kristalne rešetke.
- ❖ Oblast u kojoj se nalaze samo nepomični joni unutar kristalne rešetke se naziva oblast prostornog tovara (naelektrisanja).
- ❖ U oblasti prostornog tovara praktično nema slobodnih nosilaca naelektrisanja (elektrona i šupljina), tako da se ova oblast naziva i osiromašena oblast (*depletion region*).

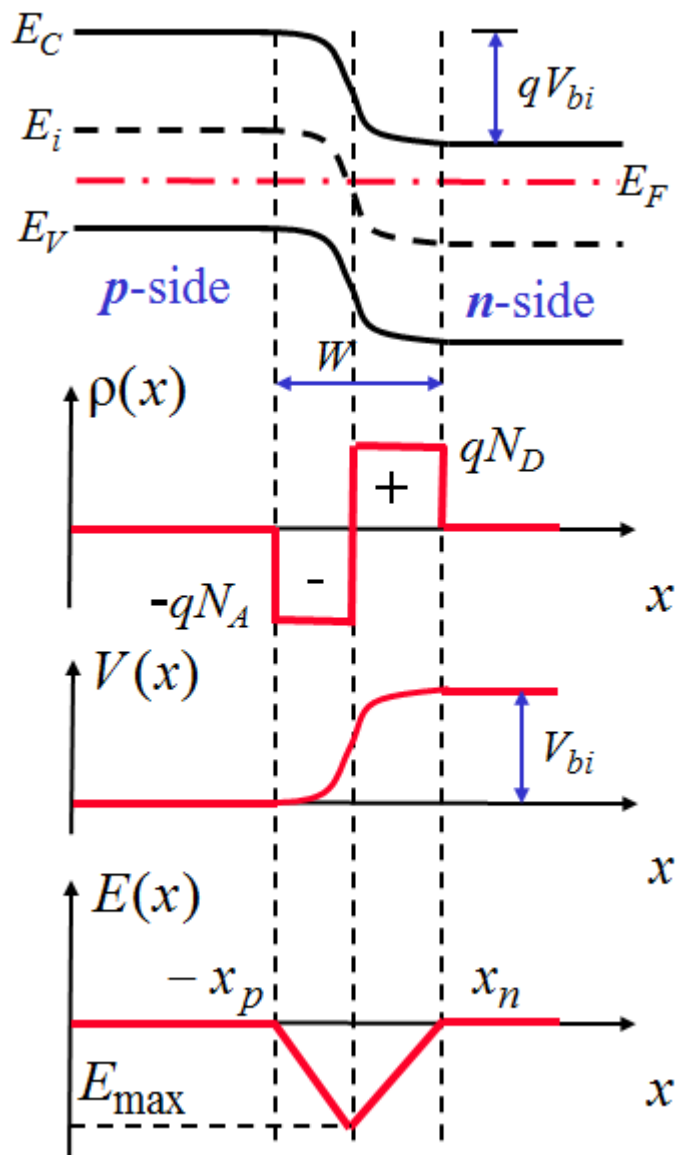
Koncentracije slobodnih nosilaca i nepomičnih jona



Ugrađeno električno polje

- ❖ Pozitivno naelektrisani donorski joni u n-tipu pp i negativno naelektrisani akceptorski joni u p-tipu pp formiraju ugrađeno električno polje u okolini pn spoja.
- ❖ Ugrađeno električno polje je usmereno od n-tipa pp ka p-tipu pp.
- ❖ Ugrađeno električno polje se suprotstavlja daljem prelasku elektrona iz n-tipa pp u p-tip pp.
- ❖ Ugrađeno električno polje se takođe suprotstavlja daljem prelasku šupljina iz p-tipa pp u n-tip pp.

Ugrađeno polje i napon pn spoja



E_C = min energija u provodnoj zoni
 $E_i = (E_C + E_V) / 2$ energija Fermijevog nivoa u besprimesnom poluprovodniku
 E_F = energija Fermijevog nivoa (max energija elektrona na apsolutnoj nuli)
 E_V = max energija u valentnoj zoni
 $\rho(x)$ = gustina naelektrisanja jona
 $V(x)$ = potencijal
 $E(x)$ = električno polje

$$qV_{bi} = (E_i - E_F)_p + (E_F - E_i)_n$$

$$n_{n0} = n_i \exp[(E_F - E_i)/k_B T]$$

$$p_{p0} = n_i \exp[E_i - E_F / k_B T]$$

$$V_{bi} = \frac{k_B T}{q} \ln \left(\frac{p_{p0} n_{n0}}{n_i^2} \right) \approx V_T \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right)$$

Ugrađeni napon

Ugrađeno električno polje stvara na napon na krajevima oblasti prostornog tovara (*built-in-voltage*), koji se naziva ugrađeni napon pn spoja i označava na različite načine:

$$V_{bi} = \frac{kT}{q} \ln \left(\frac{N_D N_A}{n_i^2} \right) = V_t \ln \left(\frac{N_D N_A}{n_i^2} \right) \quad V_0 = V_T \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right)$$

Napon $V_t = V_T$ se naziva termički napon i figuriše u Ajnštajnovim relacijama između difuzionih koeficijenata i pokretljivosti:

$$V_t = \frac{kT}{q} \quad \frac{D_n}{\mu_n} = \frac{D_p}{\mu_p} = V_T$$

Pri tome je k Bolcmanova konstanta:

$$k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$$

$$V_t \simeq 26 \text{ mV} \quad T = 300 \text{ K}$$

Naponi u oblasti prostornog tovara

Rešavanjem jednodimenzionalne Poasonove jednačine za oblast prostornog tovara sa graničnim uslovima se dobija napon u p-tipu pp i n-tipu pp, a zatim iz uslova istog napona na samom pn spoju ($x=0$) se izračunava i širina oblasti prostornog tovara:

$$V(-x_p) = 0, \quad V(x_n) = V_{bi}, \quad E(-x_n) = E(x_p) = 0$$

$$V_p(x) = \frac{qN_A}{2k_s\epsilon_0} (x + x_p)^2$$

$$V_n(x) = -\frac{qN_D}{2k_s\epsilon_0} (x_n - x)^2 + V_{bi}$$

$$\left. \begin{array}{l} x_n + x_p = W \\ V_p(0) = V_n(0) \\ N_A x_p = N_D x_n \end{array} \right\} \rightarrow W = \sqrt{\frac{2k_s\epsilon_0(N_A + N_D)V_{bi}}{qN_A N_D}}$$

Širina oblasti prostornog tovara

Oblast prostornog tovara se više širi na manje dopiranu stranu pn spoja, što se dobija iz uslova istog naelektrisanja $|Q_+| = |Q_-|$:

$$qAx_nN_D = qAx_pN_A \qquad \frac{x_n}{x_p} = \frac{N_A}{N_D}$$

Ukupna širina oblasti prostornog tovara je:

$$W_d = \sqrt{\frac{2\varepsilon_s}{q} \left(\frac{1}{N_A} + \frac{1}{N_D} \right) V_{bi}}$$

Pri tome su dielektrična konstanta silicijuma, vakuuma i relativna dielektrična konstanta silicijuma, respektivno:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_0 \times \varepsilon_{Si} = 1.04 \times 10^{-12} \text{ F cm}^{-1}$$

$$\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-14} \text{ F cm}^{-1}$$

$$\varepsilon_{Si} = 11,8$$

Dioda

Dioda u poluprovodničkoj tehnologiji je pn spoj.

Anoda je povezana na p-tip pp, a katoda na n-tip pp.



Obična dioda za male signale, usmerače ili prekidačka dioda.



Zenerova dioda može da radi u oblasti Zenerovog proboja.



Šotkijeva dioda je spoj metala i dopiranog poluprovodnika.



Varikap dioda (varaktor) obezbeđuje što veću promenu kapacitivnosti sa promenom napona inverzne polarizacije.



Svetleća dioda (LED) emituje svetlost pri rekombinaciji elektrona i šupljina.

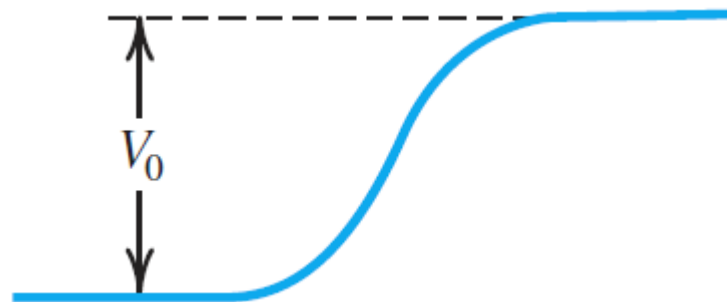
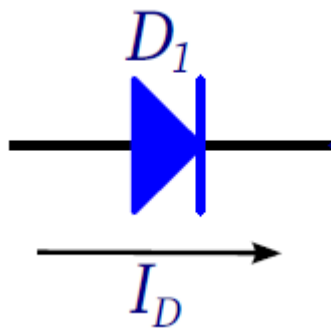
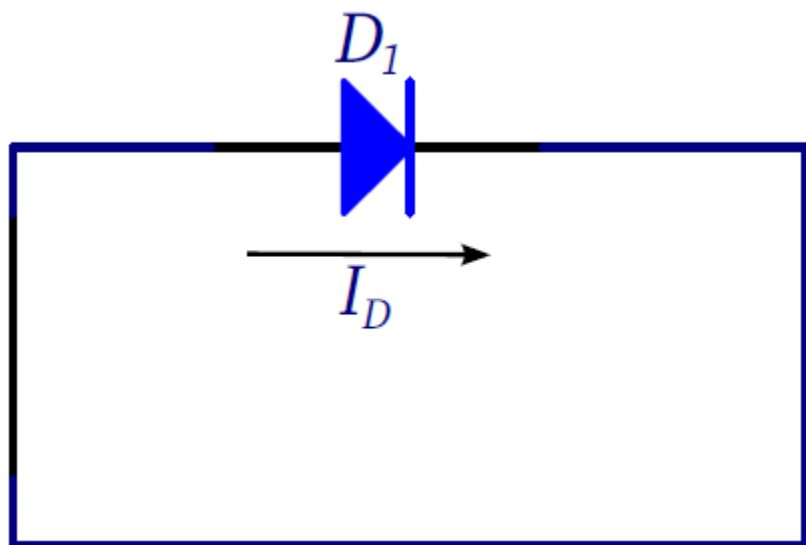


Fotodioda menja inverznu struju zasićenja sa promenom intenziteta svetla.

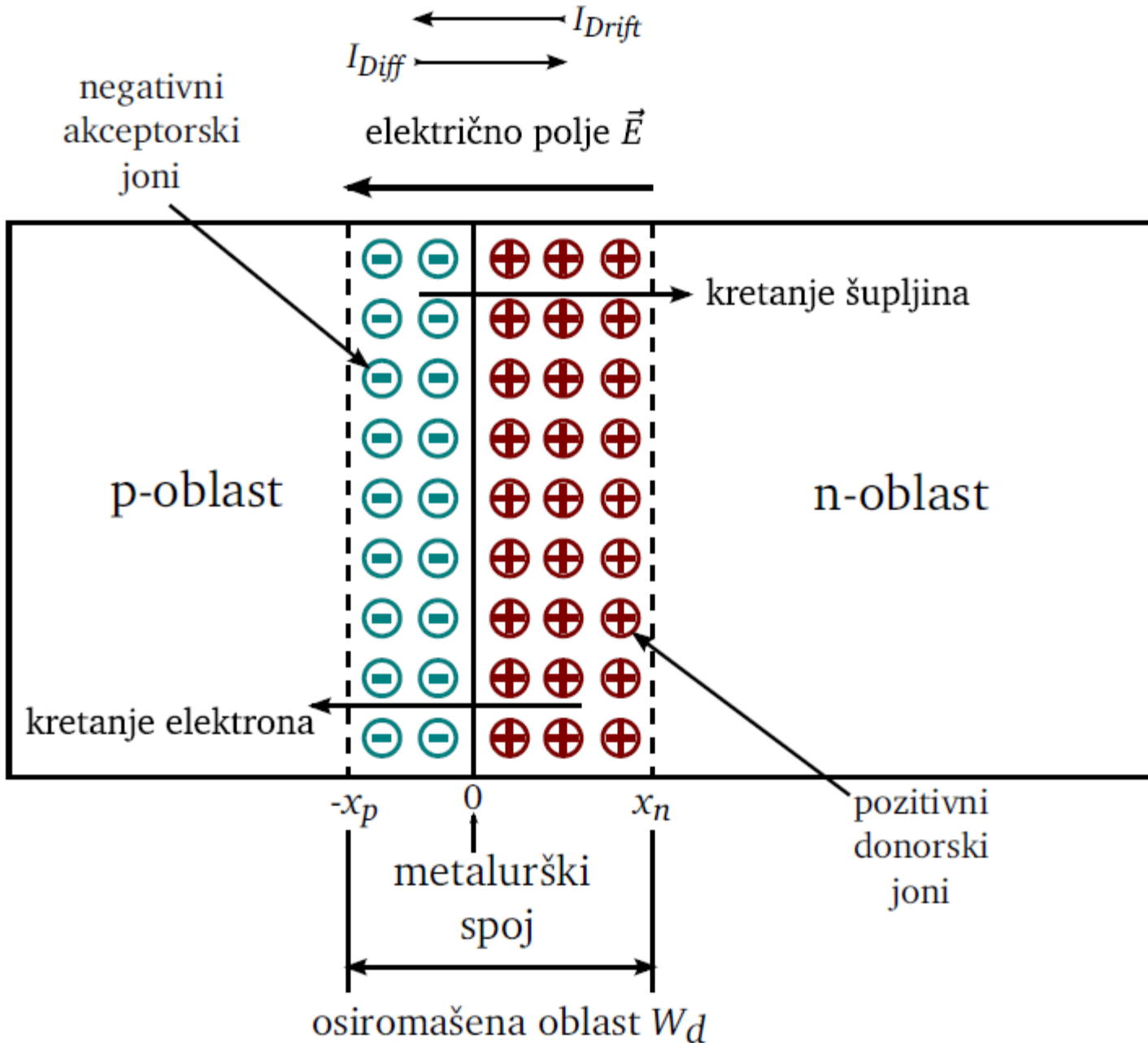


Nepolarisana dioda

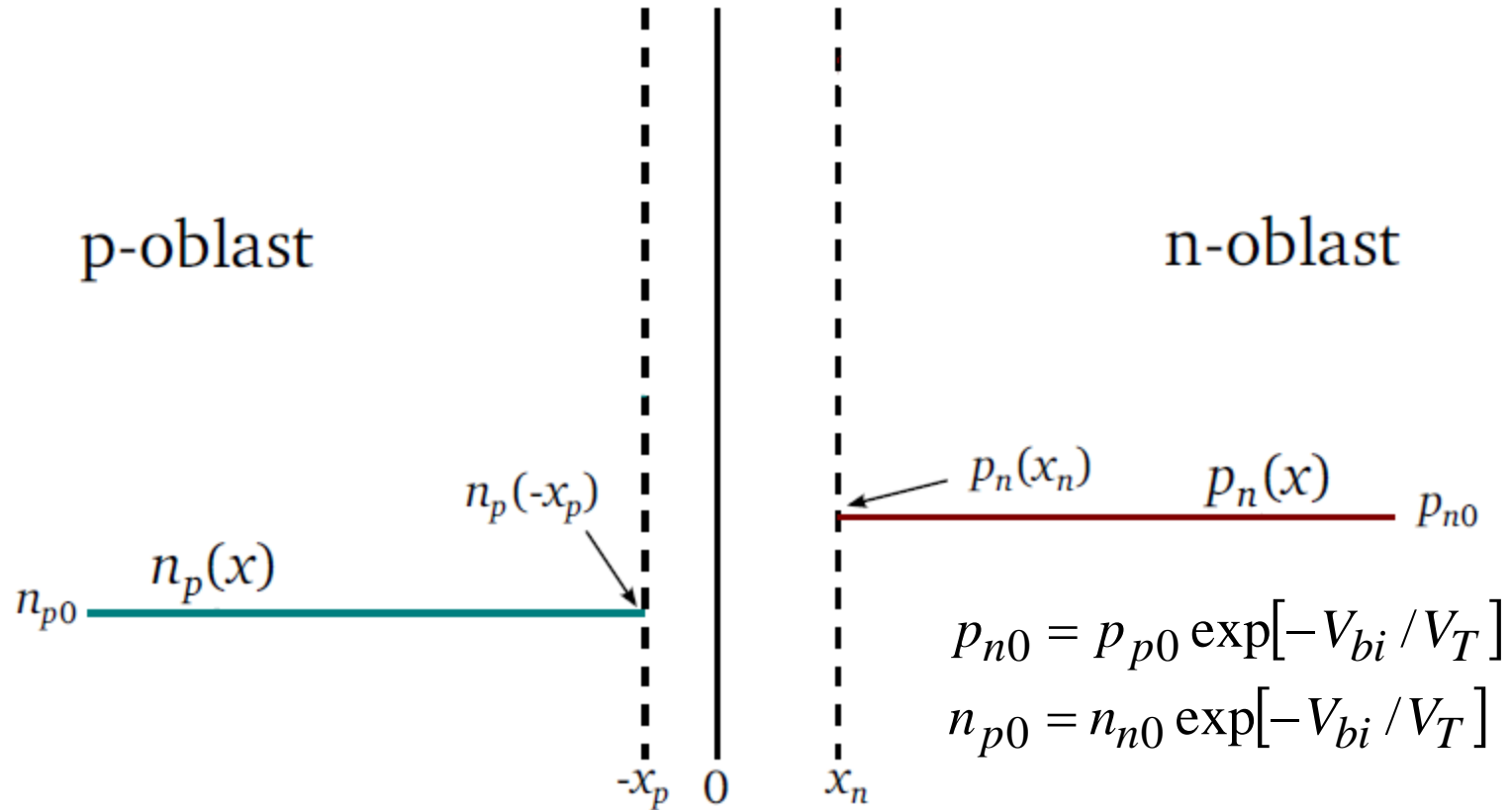
- ❖ Nepolarisana dioda podrazumeva dovođenje kratkog spoja ili otvorene veze na njene priključke.



Nepolarisana dioda



Ravnotežne koncentracije sporednih nosilaca

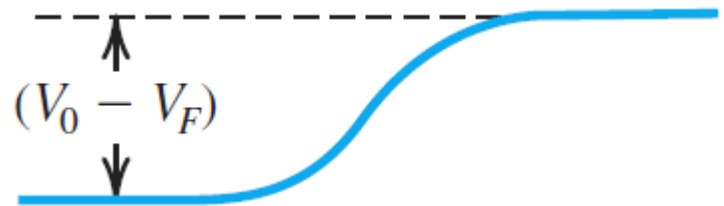
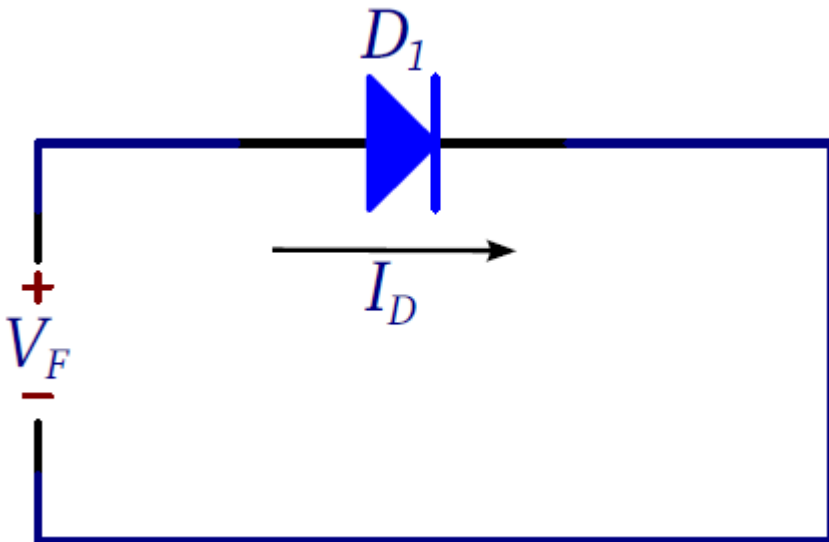


$p_n(x_n)$ je ravnotežna koncentracija šupljina u n-tipu pp jednaka p_{n0} .

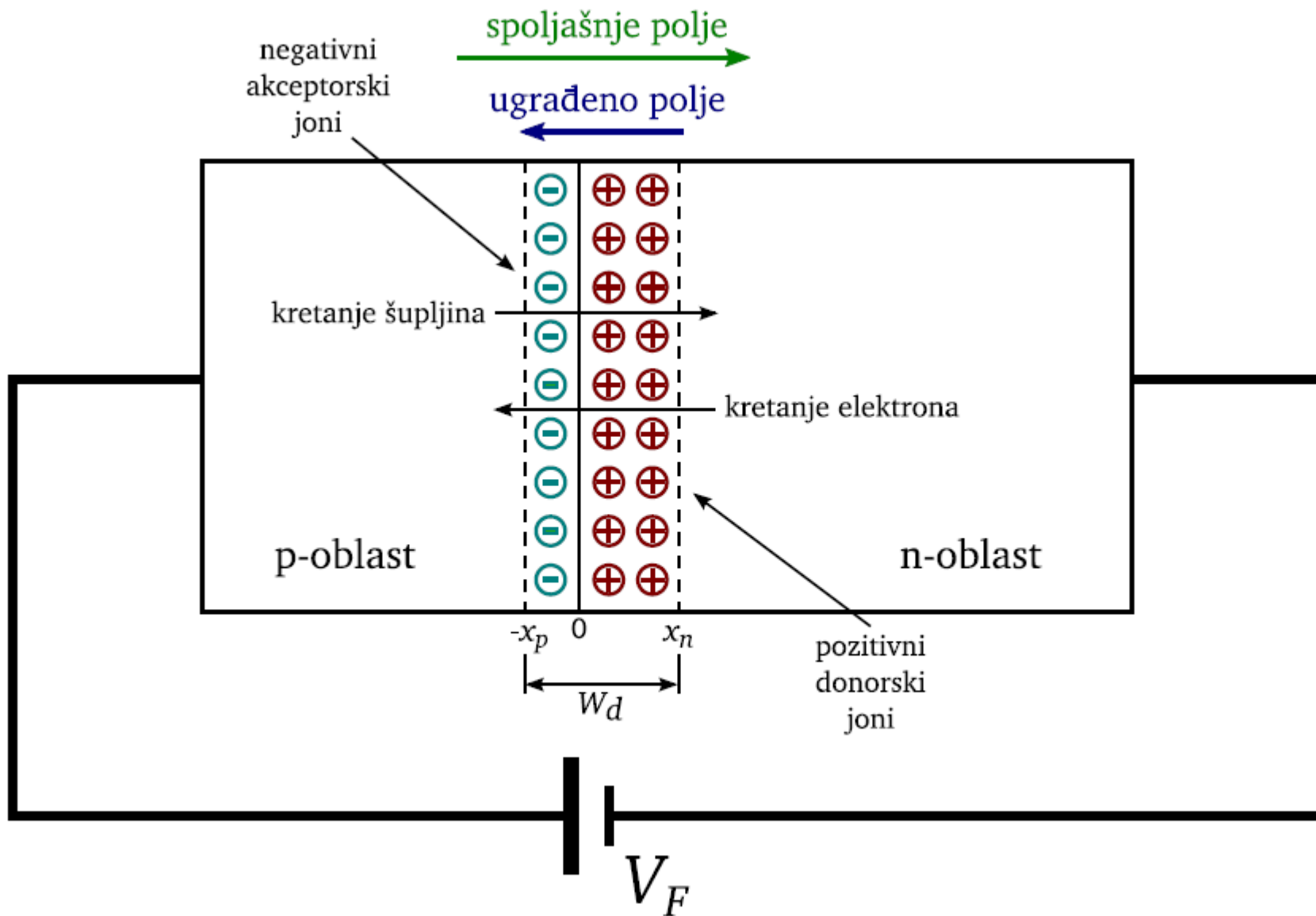
$n_p(-x_p)$ je ravnotežna koncentracija šupljina u p-tipu pp jednaka n_{p0} .

Direktna polarizacija

- ❖ Direktna polarizacija diode podrazumeva dovođenje spoljašnjeg napona V_F na njene priključke, tako da je pozitivan kraj napona na anodi, a negativan na katodi.
- ❖ Spoljašnji napon V_F generiše spoljašnje električno polje koje je suprotnog smera od ugrađenog električnog polja, i time smanjuje električno polje i napon na krajevima oblasti prostornog tovara $V_0 - V_F$.



Direktna polarizacija

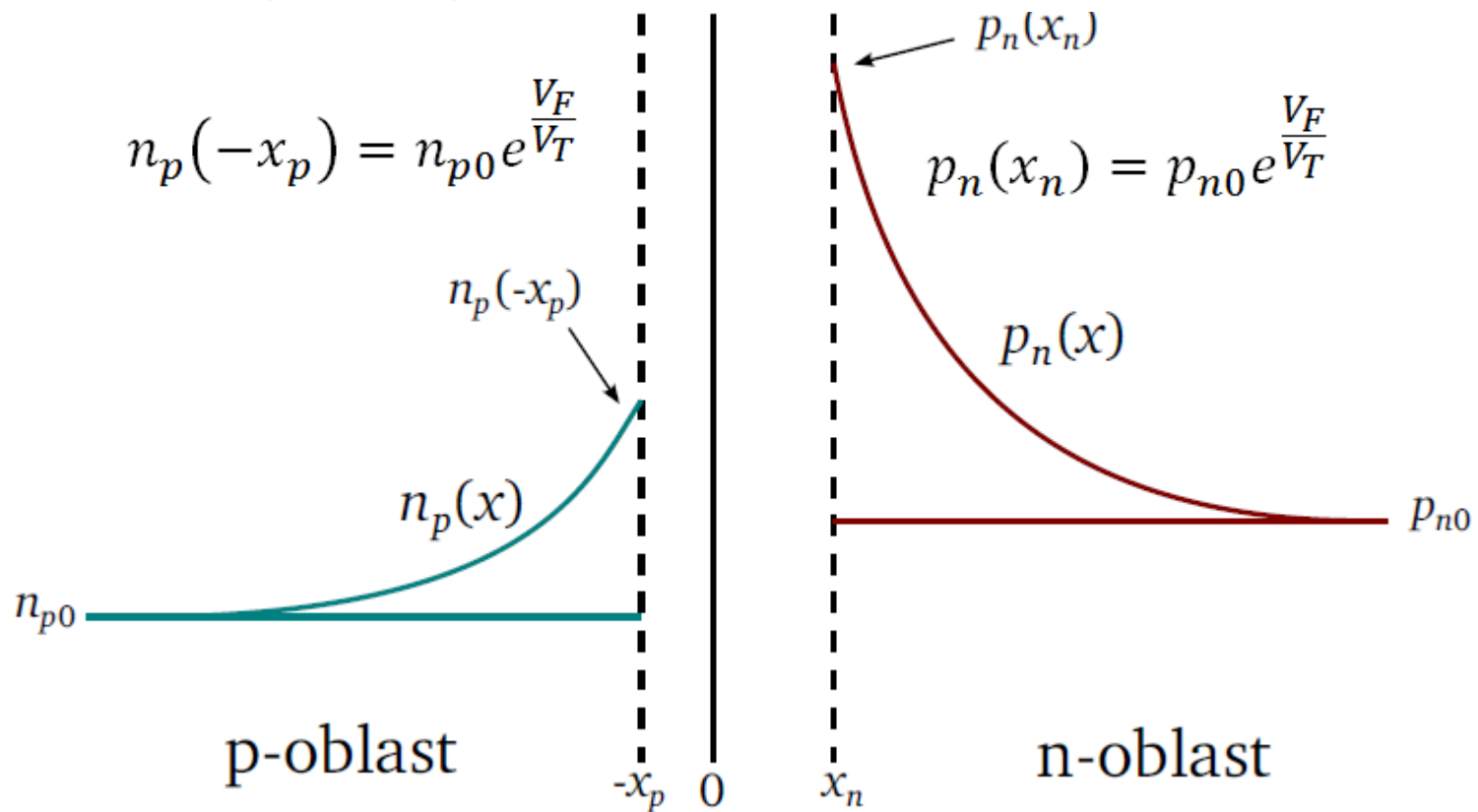


Sužavanje oblasti prostornog tovara

- ❖ Smanjenje ugrađenog električnog polja omogućava da se više šupljina iz p-tipa pp približi pn spoju, gde formiraju nadkoncentraciju šupljina, veću od ravnotežne koncentracije, i neutralizuju negativne akceptorske jone, čime se smanjuje širina oblasti prostornog tovara sa strane p-tipa pp.
- ❖ Nadkoncentracija šupljina se asimptotski smanjuje na ravnotežnu koncentraciju za dovoljno dugačak p-tip pp.
- ❖ Smanjenje ugrađenog električnog polja omogućava da se više elektrona iz n-tipa pp približi pn spoju, gde formiraju nafkoncentraciju elektrona, veću od ravnotežne koncentracije, i neutralizuju pozitivne donorske jone, čime se smanjuje širina oblasti prostornog tovara sa strane n-tipa pp.
- ❖ Nadkoncentracija elektrona se asimptotski smanjuje na ravnotežnu koncentraciju za dovoljno dugačak n-tip pp.

Nadkoncentracije sporednih nosilaca

$$n_p(x) = n_{p0} + n_{p0} \left(e^{\frac{V_F}{V_T}} - 1 \right) e^{-\frac{x+x_p}{L_n}} \quad p_n(x) = p_{n0} + p_{n0} \left(e^{\frac{V_F}{V_T}} - 1 \right) e^{-\frac{x-x_n}{L_p}}$$



$p_n(x_n)$ je nadkoncentracija šupljina u n-tipu pp sa ravnotežnom koncentracijom p_{n0} .

$n_p(-x_p)$ je nadkoncentracija šupljina u p-tipu pp sa ravnotežnom koncentracijom n_{p0} .

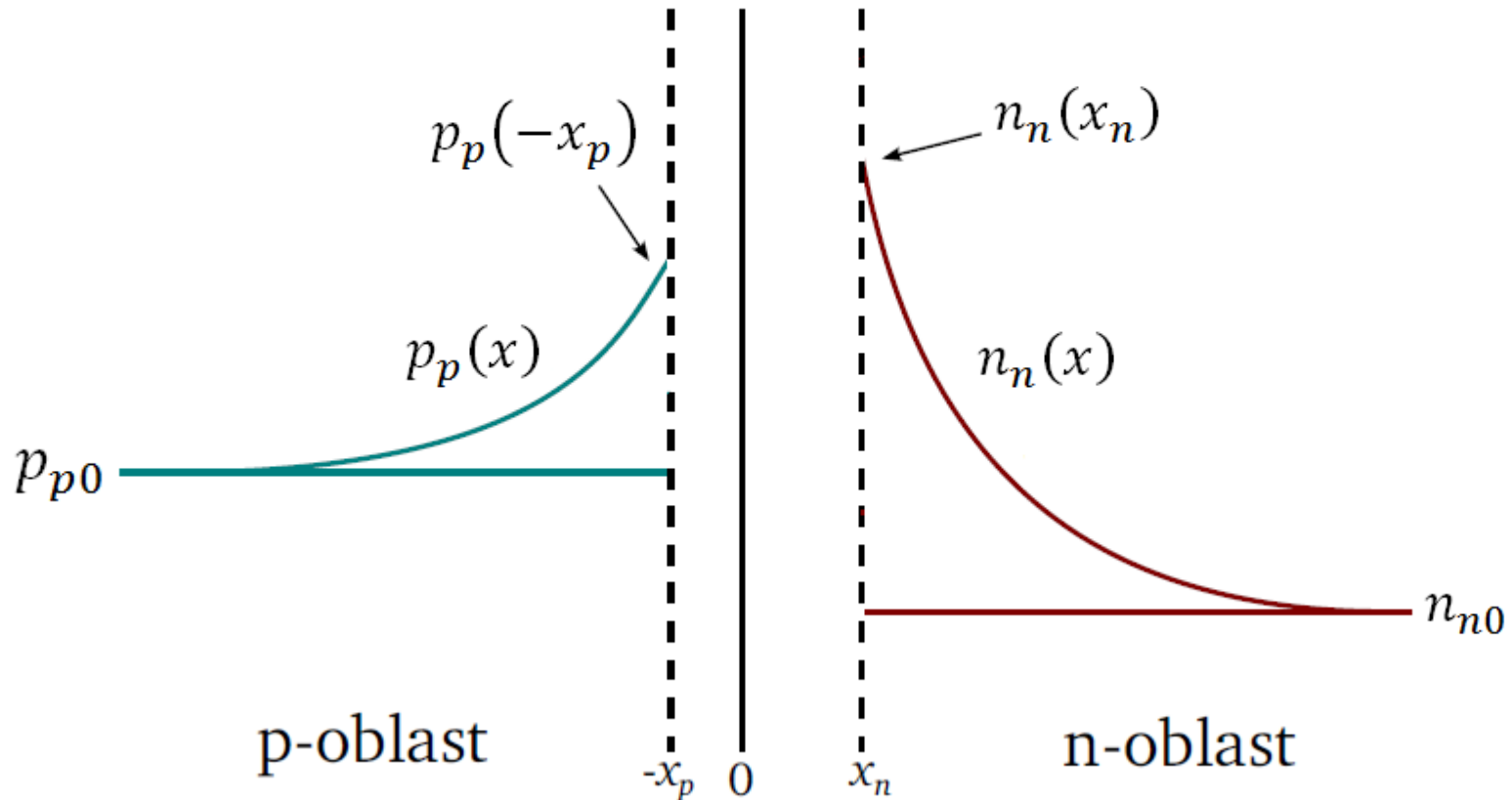
Nadkoncentracije glavnih nosilaca

$$p_p(x) = p_{p0} + n_{p0} \left(e^{\frac{V_F}{V_T}} - 1 \right) e^{-\frac{x+x_p}{L_n}}$$

$$n_n(x) = n_{n0} + p_{n0} \left(e^{\frac{V_F}{V_T}} - 1 \right) e^{-\frac{x-x_n}{L_p}}$$

$$p_p(-x_p) = p_{p0} + n_{p0} \left(e^{\frac{V_F}{V_T}} - 1 \right) \approx p_{p0}$$

$$n_n(x_n) = n_{n0} + p_{n0} \left(e^{\frac{V_F}{V_T}} - 1 \right) \approx n_{n0}$$



Nadkoncentracije šupljina i elektrona u p-tipu p_p su iste zbog lokalne elektroneutralnosti. Nadkoncentracije elektrona i šupljina u n-tipu p_n su iste zbog lokalne elektroneutralnosti.

Sporedni nosioci se uglavnom kreću difuzijom

Diferenciranjem koncentracije šupljina u izrazu za gustinu difuzione struje se dobija izraz za gustinu struje šupljina na granici oblasti prostornog tovara i analogno tome izraz za gustinu struje elektrona na granici oblasti prostornog tovara.

$$p_n(x) = p_{n0} + p_{n0}(e^{V/V_T} - 1)e^{-(x-x_n)/L_p}$$

$$n_p(x) = n_{p0} + n_{p0}(e^{V/V_T} - 1)e^{(x+x_p)/L_n}$$

$$J_p(x) = -qD_p \frac{dp_n(x)}{dx}$$

$$J_p^{diff}(x) = \frac{qD_p p_{n0}}{L_p} (e^{V/V_T} - 1) e^{-(x-x_n)/L_p}$$

$$J_n(x) = qD_n \frac{dn_p(x)}{dx}$$

$$J_n^{diff}(x) = \frac{qD_n n_{p0}}{L_n} (e^{V/V_T} - 1) e^{(x+x_p)/L_n}$$

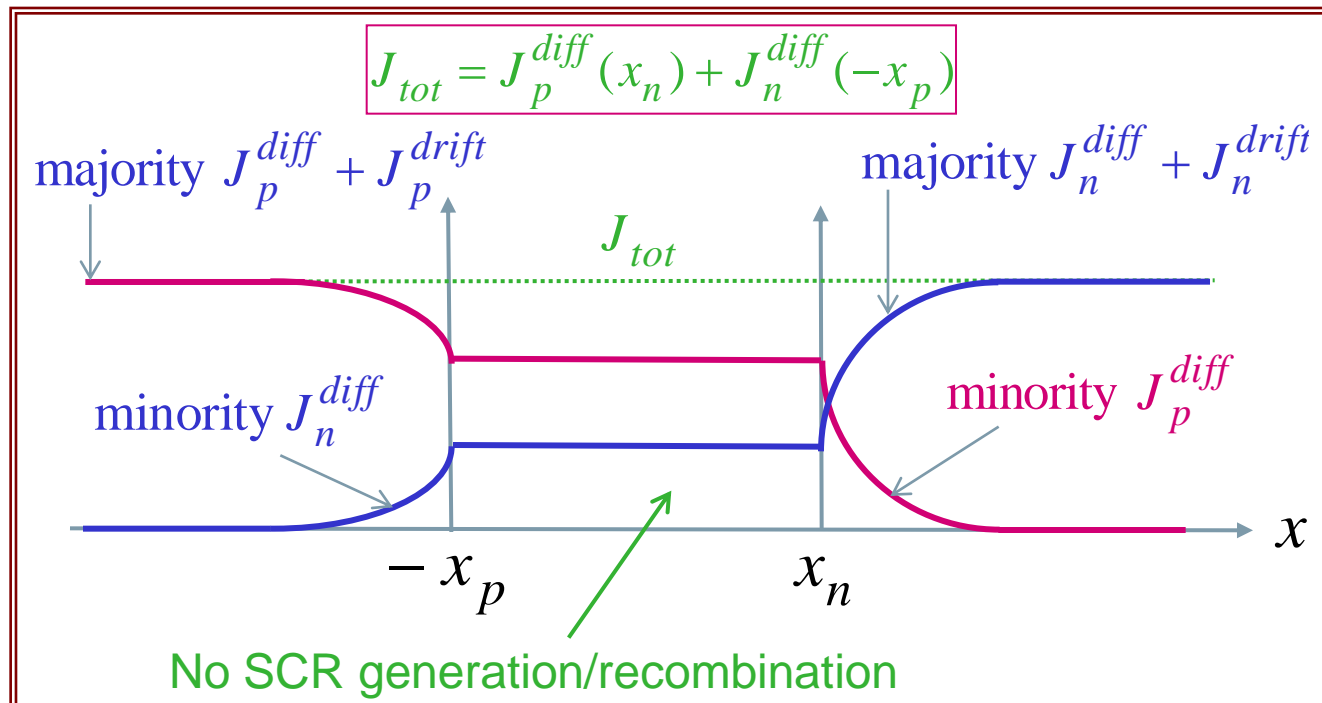
Komponente gustine struje diode

Ukupna gustina struje diode odgovara zbiru gustina difuzionih struja šupljina i elektrona unutar oblasti prostornog tovara, koje su identične odgovarajućim gustinama struja na granicama oblasti prostornog tovara.

$$J_n(-x_p) = q \left(\frac{D_n}{L_n} \right) n_{p0} (e^{V/V_T} - 1)$$

$$J_p(x_n) = q \left(\frac{D_p}{L_p} \right) p_{n0} (e^{V/V_T} - 1)$$

Shockley model



Ukupna struja diode

Ukupna struje diode odgovara zbiru difuzionih struja šupljina i elektrona unutar oblasti prostornog tovara površine poprečnog preseka A , pri čemu se koriste izrazi za ravnotežne koncentracije.

$$I = A(J_p + J_n)$$

$$I = Aq \left(\frac{D_p}{L_p} p_{n0} + \frac{D_n}{L_n} n_{p0} \right) (e^{v/V_T} - 1)$$

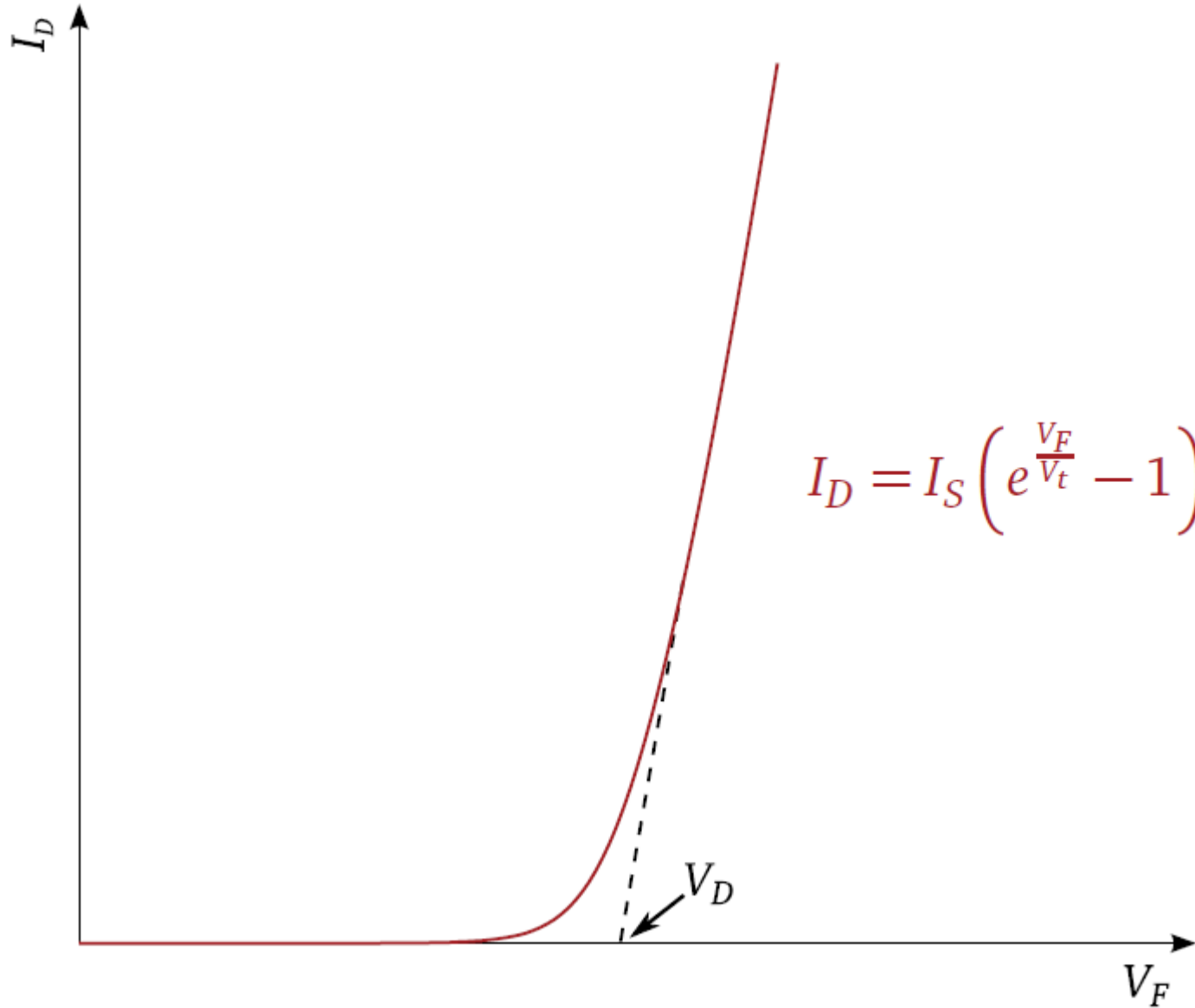
$$p_{n0} = n_i^2 / N_D \qquad n_{p0} = n_i^2 / N_A$$

$$I = Aqn_i^2 \left(\frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A} \right) (e^{v/V_T} - 1)$$

$$I = I_S (e^{v/V_T} - 1)$$

$$I_S = Aqn_i^2 \left(\frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A} \right)$$

Strujno-naponska karakteristika

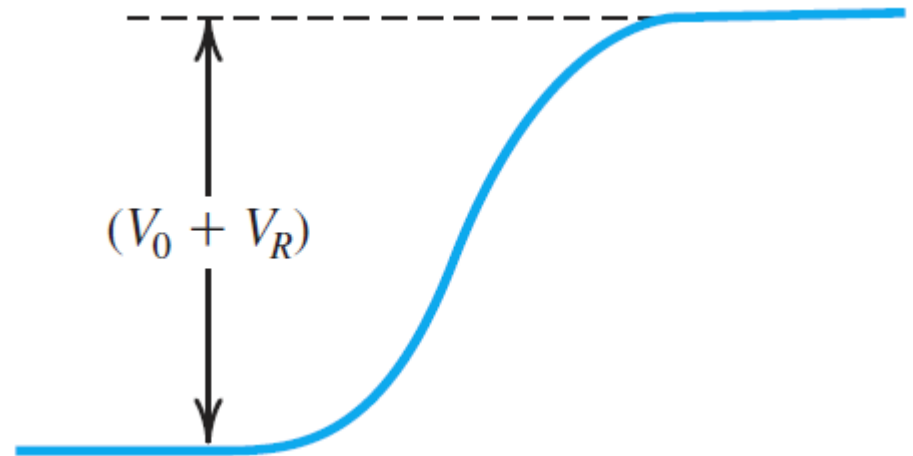
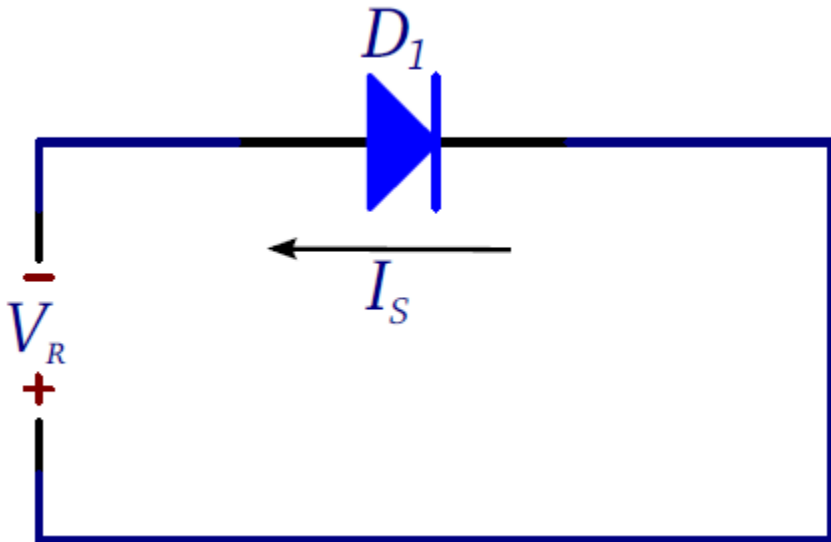


Napon direktno polarisane diode

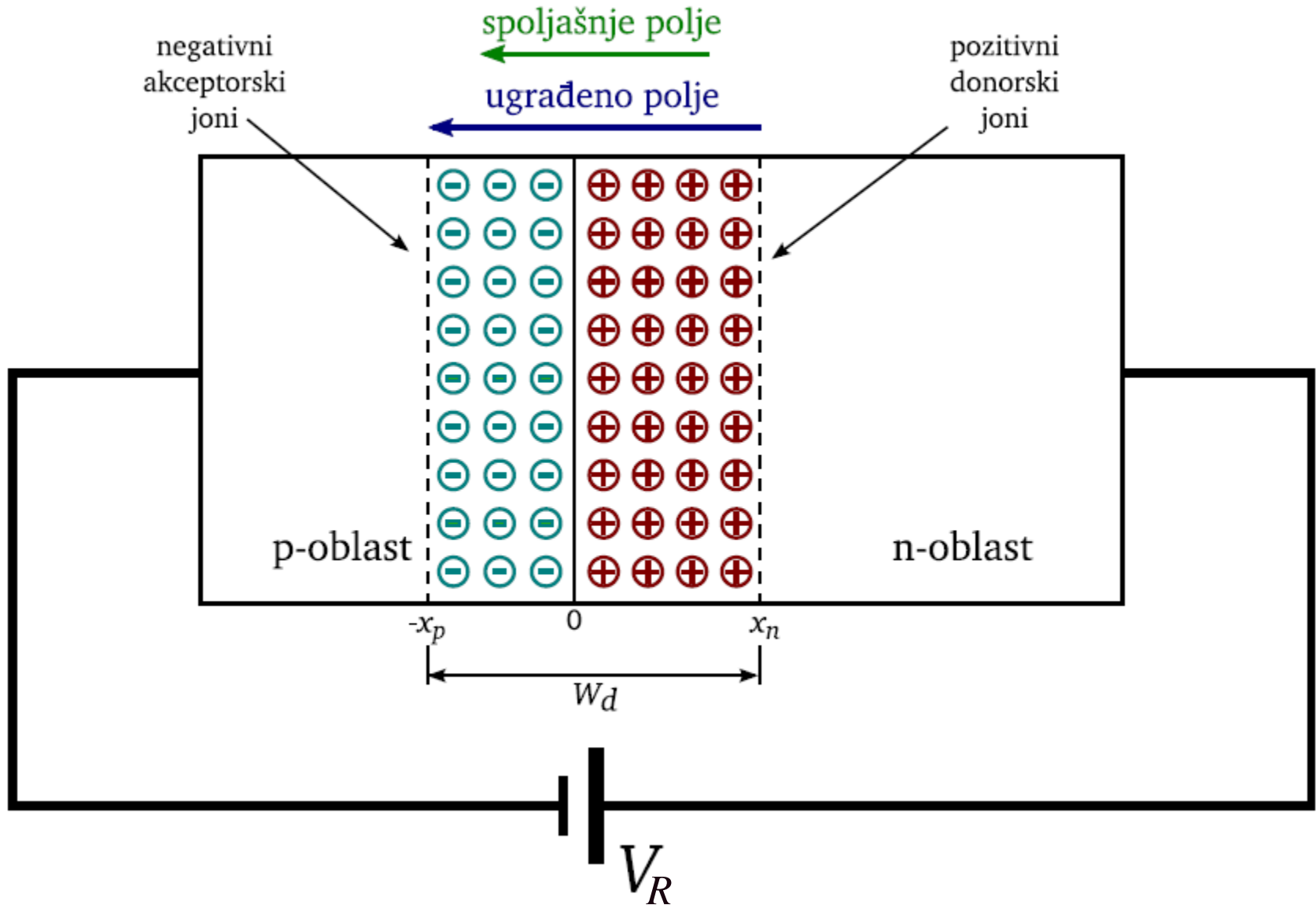
- ❖ Ne postoji napon “praga” provođenja diode ispod koga dioda ne provodi.
- ❖ Kroz diodu počinje da protiče značajna struja nakon što spoljašnji napon V_F postane blizak ugrađenom naponu V_{bi} .
- ❖ Nakon toga, struja diode eksponencijalno raste sa naponom direktne polarizacije V_F .
- ❖ Smatra se da dioda gotovo ne vodi struju ispod $V_\gamma = 0.5\text{V}$.
- ❖ Smatra se da dioda vodi značajnu struju na $V_D = 0.6\text{V}$.
- ❖ Smatra se da je napon diode za velike struje oko 0.7V .

Inverzna polarizacija

- ❖ Inverzna polarizacija diode podrazumeva dovođenje spoljašnjeg napona V_R na njene priključke, tako da je negativan kraj napona na anodi, a pozitivan na katodi.
- ❖ Spoljašnji napon V_R generiše spoljašnje električno polje koje je istog smera kao ugrađeno električno polje, i time povećava električno polje i napon na krajevima oblasti prostornog tovara $V_0 + V_R$.



Inverzna polarizacija

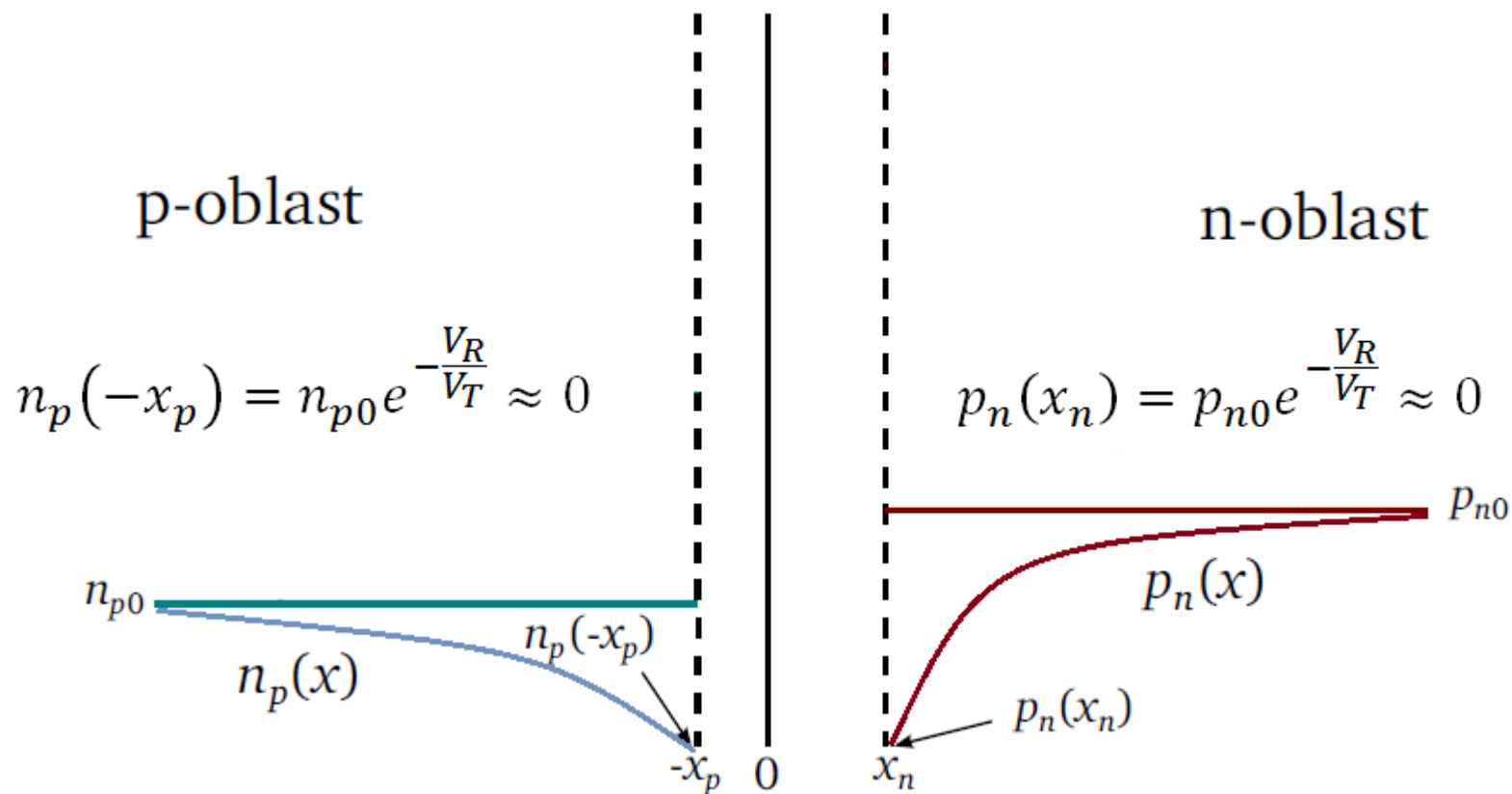


Širenje oblasti prostornog tovara

- ❖ Povećanje ugrađenog električnog polja omogućava da više šupljina iz p-tipa pp napusti okolinu pn spoja, gde formiraju podkoncentraciju šupljina, manju od ravnotežne koncentracije, i ostavljaju negativne akceptorske jone, čime se povećava širina oblasti prostornog tovara sa strane p-tipa pp.
- ❖ Podkoncentracija šupljina se asimptotski povećava na ravnotežnu koncentraciju za dovoljno dugačak p-tip pp.
- ❖ Povećanje ugrađenog električnog polja omogućava da više elektrona iz n-tipa pp napusti okolinu pn spoja, gde formiraju podkoncentraciju elektrona, manju od ravnotežne koncentracije, i ostavljaju pozitivne donorske jone, čime se povećava širina oblasti prostornog tovara sa strane n-tipa pp.
- ❖ Podkoncentracija elektrona se asimptotski povećava na ravnotežnu koncentraciju za dovoljno dugačak n-tip pp.

Podkoncentracije sporednih nosilaca

$$n_p(x) = n_{p0} + n_{p0} \left(e^{-\frac{V_R}{V_T}} - 1 \right) e^{-\frac{x+x_p}{L_n}} \quad p_n(x) = p_{n0} + p_{n0} \left(e^{-\frac{V_R}{V_T}} - 1 \right) e^{-\frac{x-x_n}{L_p}}$$

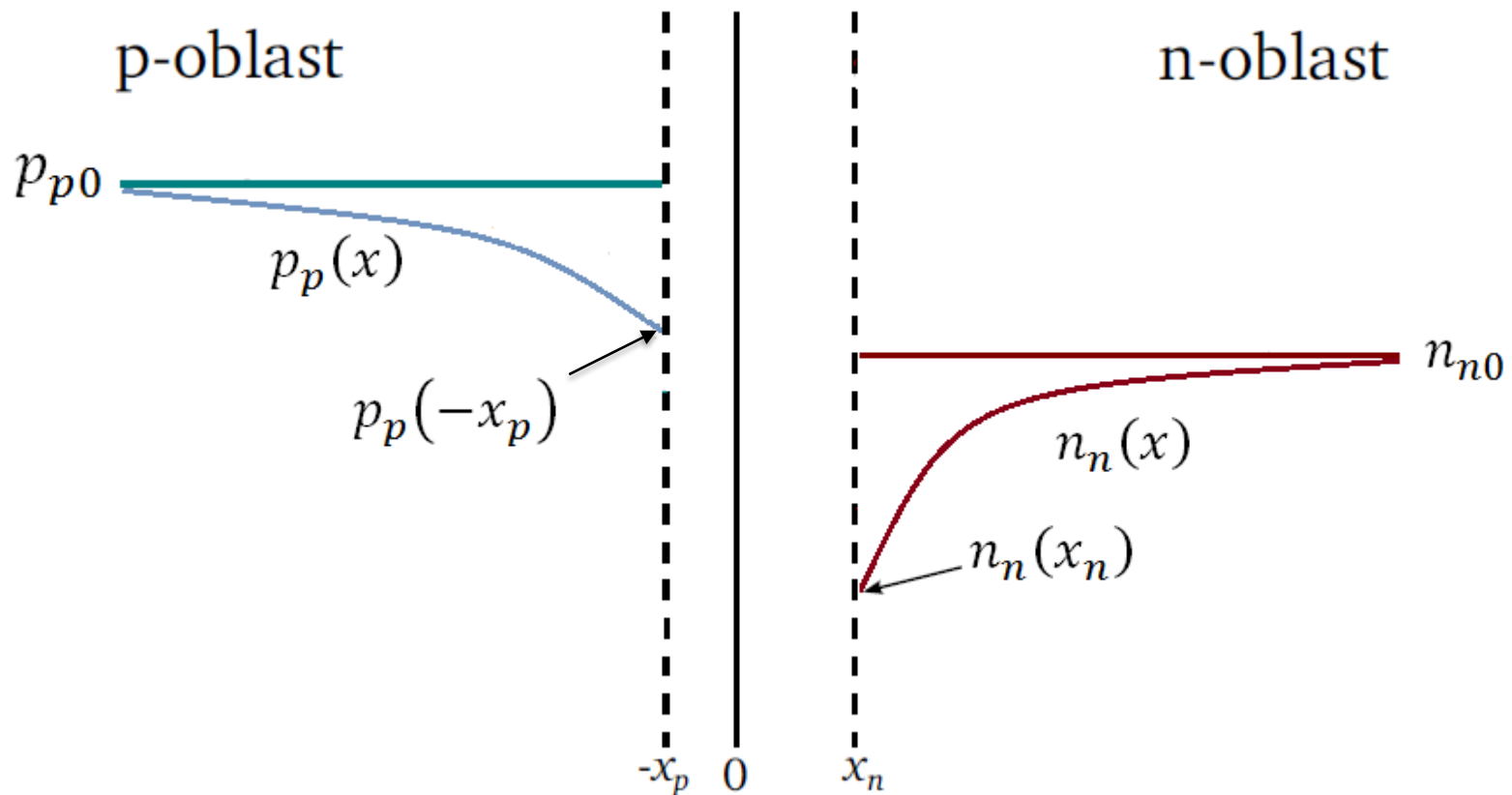


$p_n(x_n)$ je podkoncentracija šupljina u n-tipu pp sa ravnotežnom koncentracijom p_{n0} .

$n_p(-x_p)$ je podkoncentracija šupljina u p-tipu pp sa ravnotežnom koncentracijom n_{p0} .

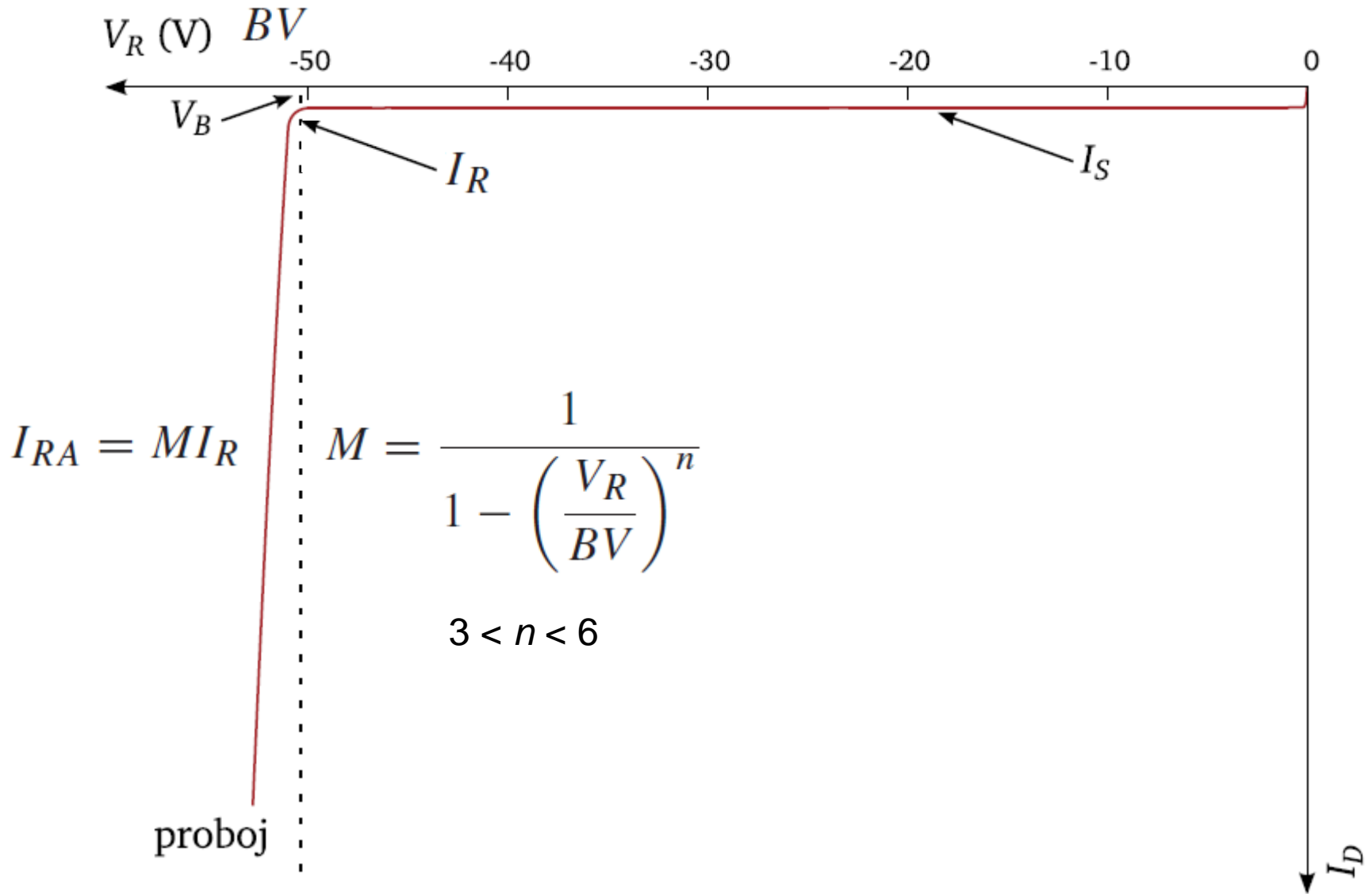
Podkoncentracije glavnih nosilaca

$$p_p(x) = p_{p0} + n_{p0} \left(e^{-\frac{V_R}{V_T}} - 1 \right) e^{-\frac{x+x_p}{L_n}} \quad n_n(x) = n_{n0} + p_{n0} \left(e^{-\frac{V_R}{V_T}} - 1 \right) e^{-\frac{x-x_n}{L_p}}$$
$$p_p(-x_p) = p_{p0} + n_{p0} \left(e^{-\frac{V_R}{V_T}} - 1 \right) \approx p_{p0} n_n(x_n) = n_{n0} + p_{n0} \left(e^{-\frac{V_R}{V_T}} - 1 \right) \approx n_{n0}$$



Podkoncentracije šupljina i elektrona u p-tipu p_p su iste zbog lokalne elektroneutralnosti. Podkoncentracije elektrona i šupljina u n-tipu p_n su iste zbog lokalne elektroneutralnosti.

Strujno-naponska karakteristika



Struja inverzno polarisane diode

- ❖ Smatra se da pri inverznoj polarizaciji dioda skoro uopšte ne provodi struju, tj. da je praktično zakočena.
- ❖ Smatra se da struja zakočene diode odgovara inverznoj struji zasićenja $-I_S$ reda nA, koja je praktično nezavisna od primenjenog napona inverzne polarizacije V_R .
- ❖ Vrednost I_S se približno udvostručuje na svakih 10 °C porasta temperature.

Probojni napon

- ❖ Probojni napon V_B je spoljašnji napon inverzne polarizacije pri kome nastupa proboj.

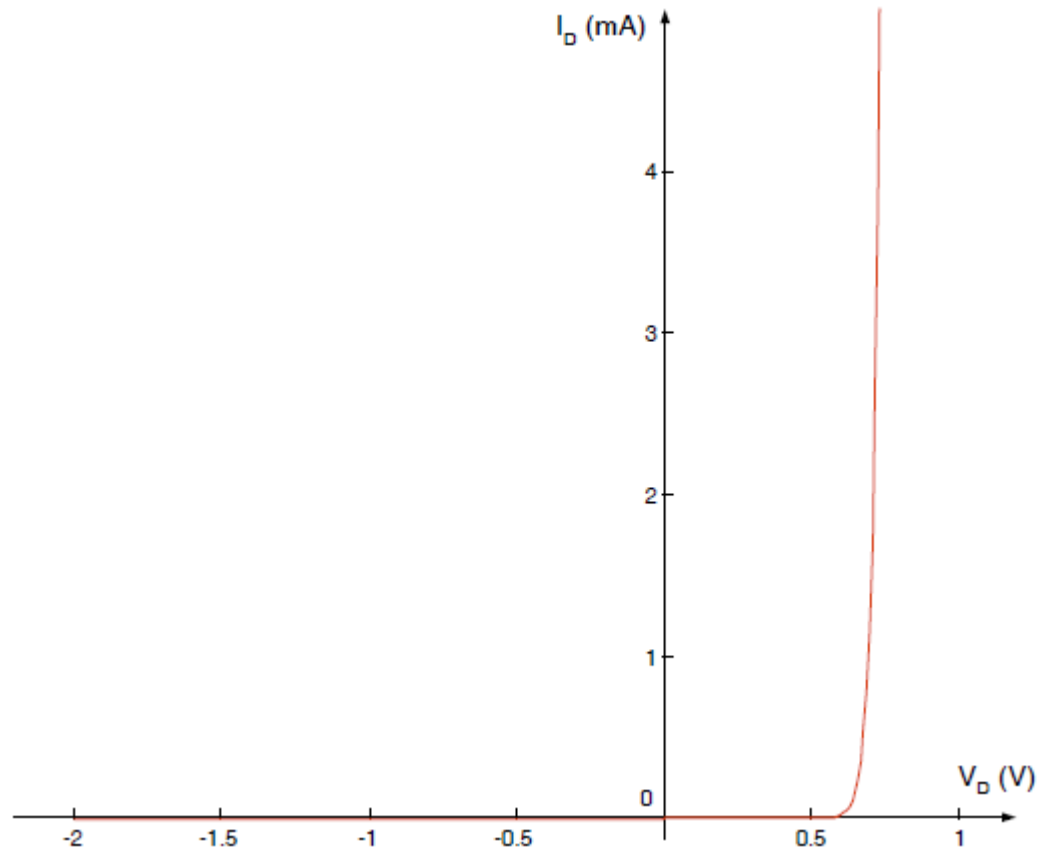
Zenerov proboj

- ❖ Smanjenje napona direktno polarisane diode V_F ispod nule, odnosno povećanje spoljašnjeg napona inverzne polarizacije V_R povećava ugrađeno električno polje do nivoa na kome može da raskine kovalentne veze unutar kristalne rešetke u okolini oblasti prostornog tovara, čime se generišu parovi elektron-šupljina.
- ❖ Generisani elektroni prelaze u n-tip pp, čime se naglo povećava struja kroz diodu.
- ❖ Generisane šupljine prelaze u p-tip pp, čime se naglo povećava struja kroz diodu.
- ❖ Zenerov proboj se dešava kod jako dopiranih p- i n-tipa pp. Zenerove diode mogu da kontinualno rade u oblasti proboja.

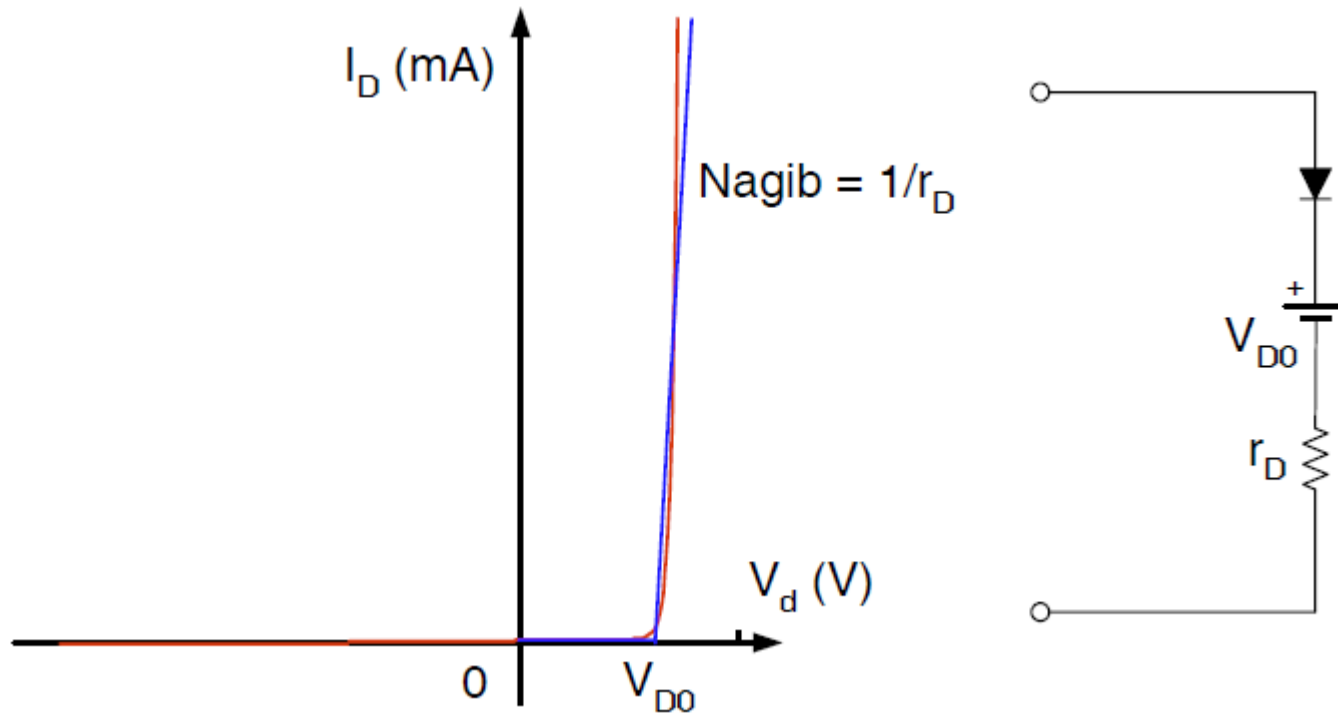
Lavinski proboj

- ❖ Pri velikim naponima inverzne polarizacije, manjinski nosioci koji prolaze kroz oblast prostornog tovara mogu da dostignu toliko veliku kinetičku energija da u sudarima sa atomima kristalne rešetke raskidaju kovalentne veze između njih i generišu nove slobodne nosioce.
- ❖ Novi slobodni nosioci takođe mogu da dostignu toliko veliku kinetičku energija da u sudarima sa atomima kristalne rešetke raskidaju kovalentne veze između njih i generišu još slobodnih nosilaca.
- ❖ Lavinski proboj naglo povećava struju kroz diodu, a time i disipaciju, tako da se dioda ne polariše da kontinualno radi u oblasti lavinskog proboja, jer može biti uništena.

Strujno-naponska karakteristika realne diode daleko od proboja

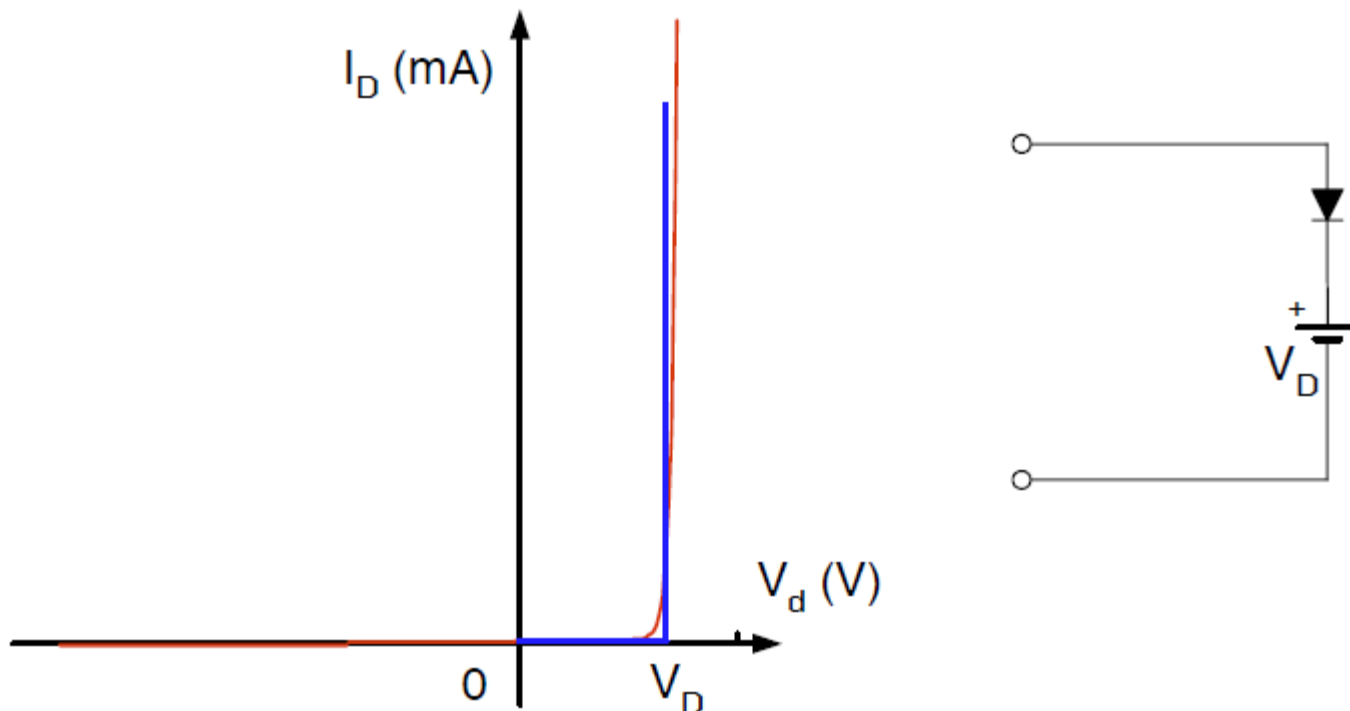


Izlomljeno linearna aproksimacija diode



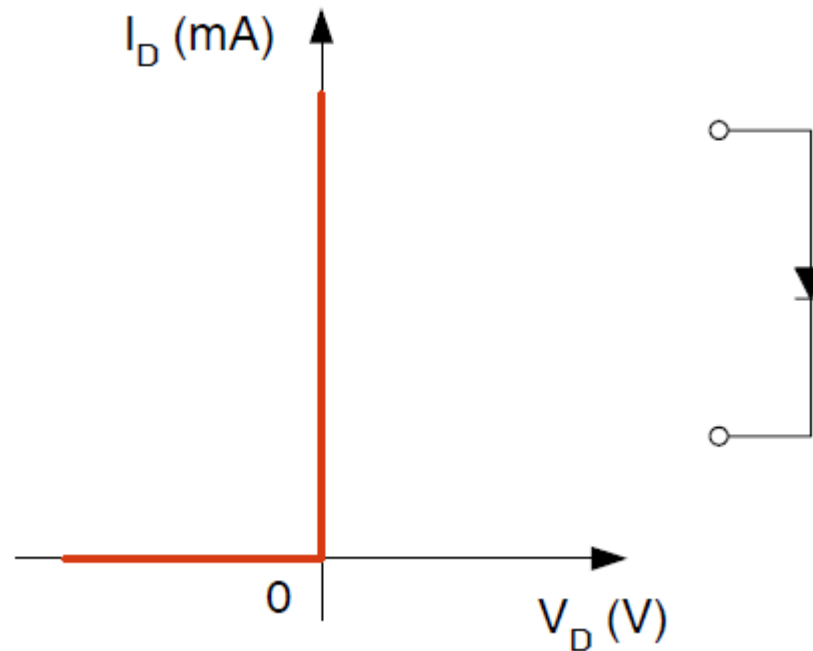
Koristi se kada su naponi i otpornosti u kolu poredivi sa naponom i otpornošću diode.

Aproksimacija diode sa konstantnim padom napona



Koristi se kada su naponi u kolu poredivi sa naponom diode, dok su otpornosti vezane na red sa diodom mnogo veće od otpornosti diode.

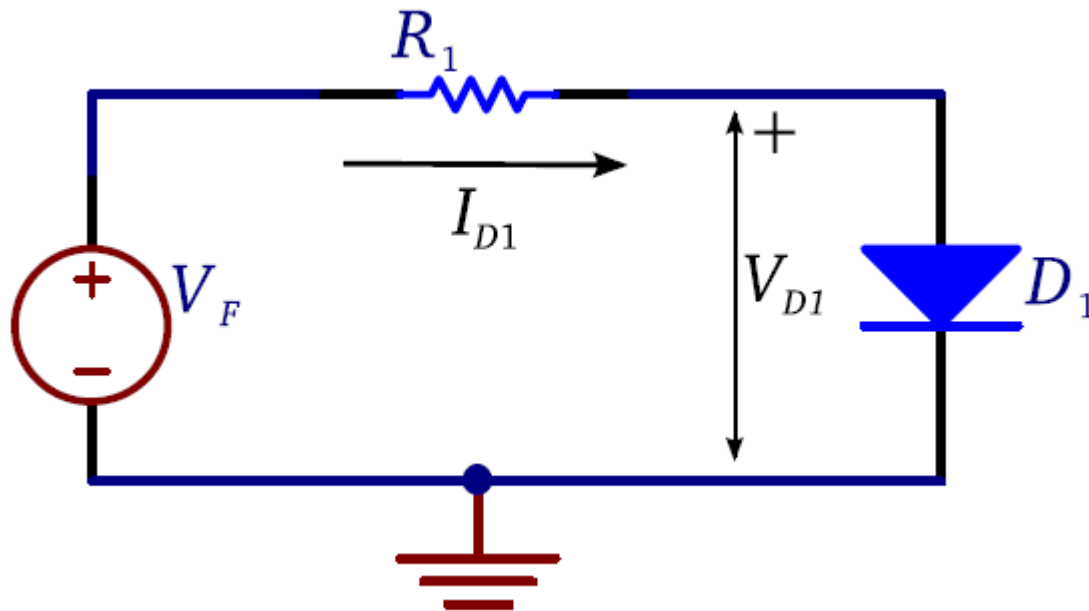
Aproksimacija idealne diode (otvorena veza ili kratak spoj)



Koristi se kada su naponi i otpornosti u kolu mnogo veći od napona i otpornosti diode.

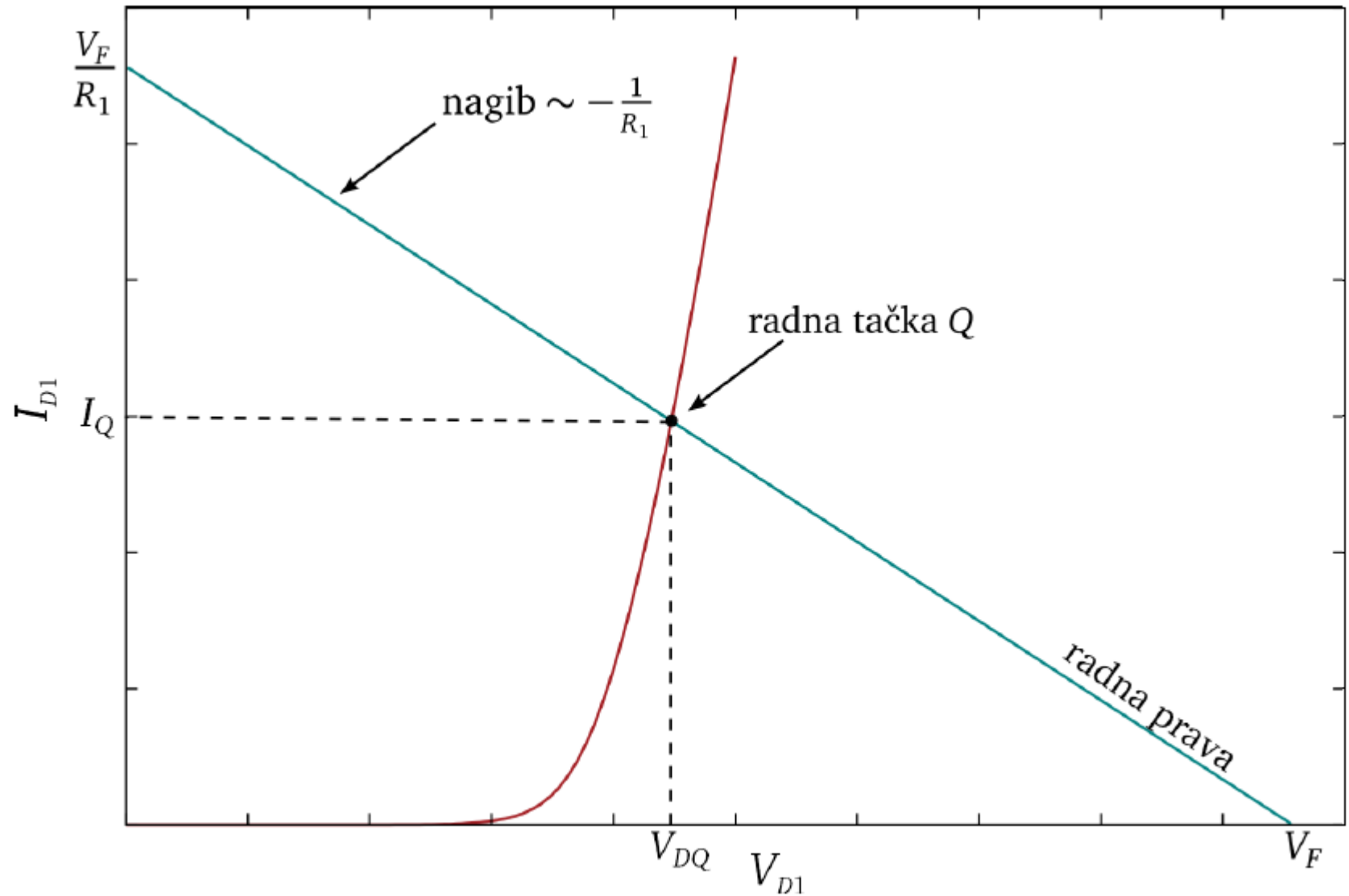
Radna tačka

Otpornik R_1 služi za ograničavanje struje diode i zadavanje mirne radne tačke Q.



$$I_{D1} = \frac{V_F - V_{D1}}{R_1} = -\frac{1}{R_1}V_{D1} + \frac{V_F}{R_1}$$

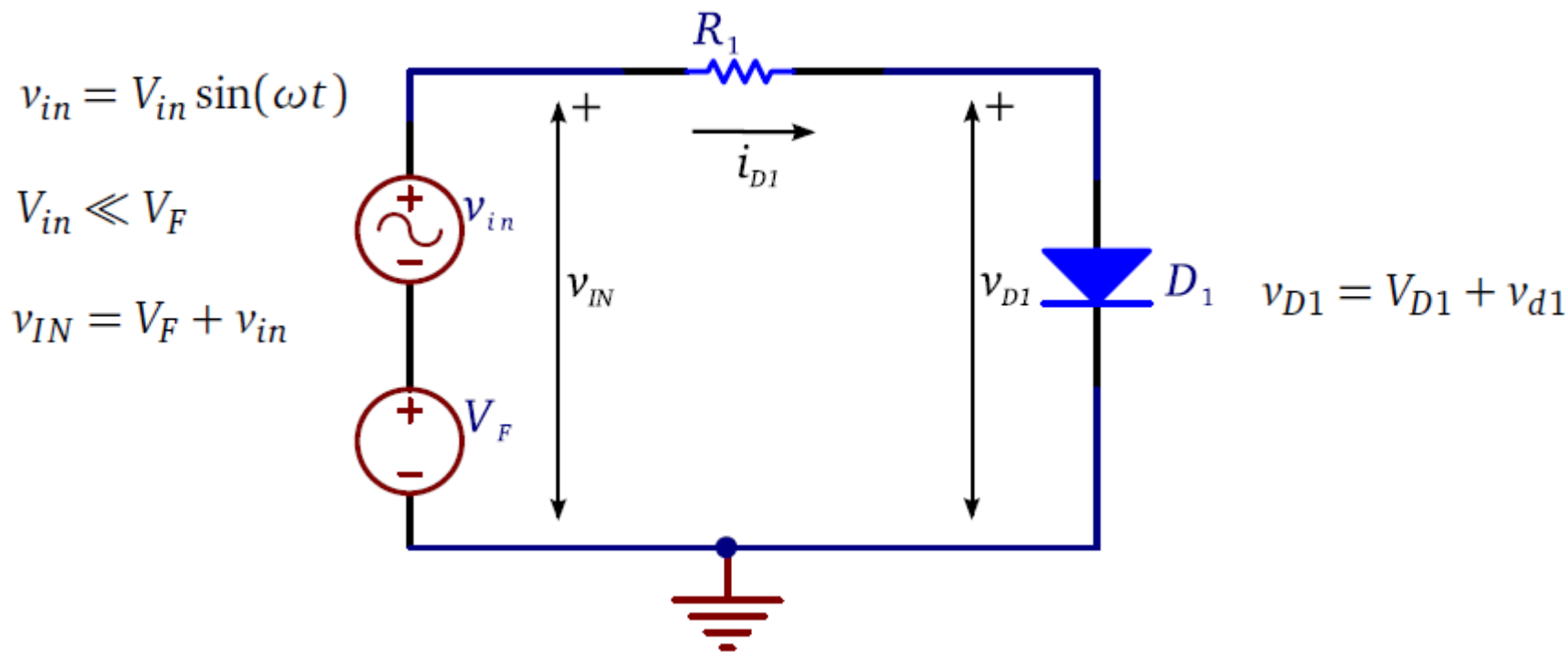
Radna prava i radna tačka



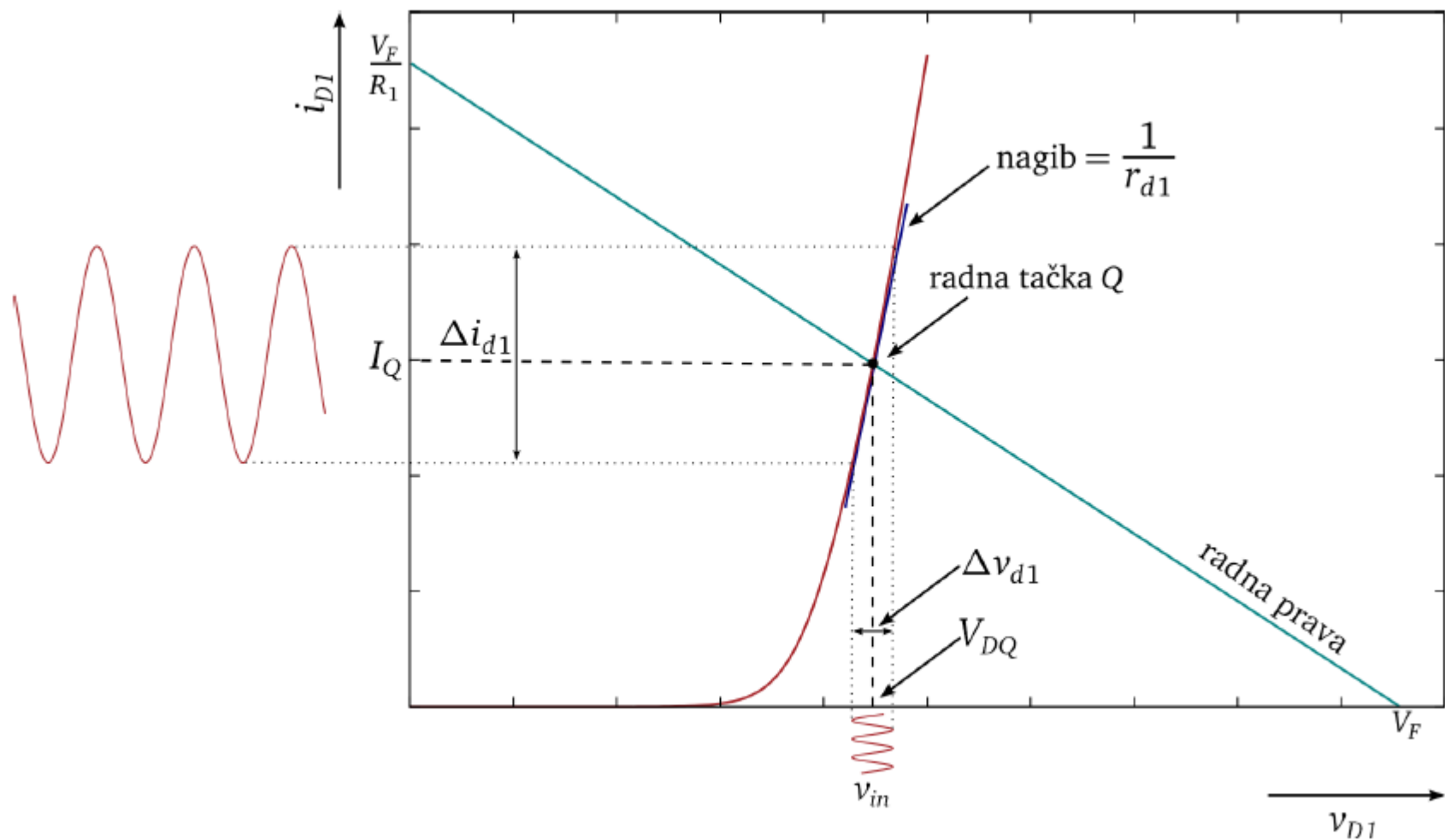
Model za male signale

Mali signal u elektronici je naizmenični električni signal čija je amplituda mnogo manja od vrednosti jednosmernih napona i struja u kolu.

Trenutne vrednosti napona i struje u kolu će biti odgovarajuće zbiru jednosmerne i naizmenične komponente prema principu superpozicije.



Mali signali u okolini radne tačke



Dinamička otpornost diode

Dinamička otpornost diode se definiše kao:

$$r_{d1} = \frac{\Delta v_{d1}}{\Delta i_{d1}}$$

Struja diode može da se izračuna preko napona diode:

$$i_{D1} = I_S \exp\left(\frac{v_{D1}}{nV_t}\right) = I_S \exp\left(\frac{V_{D1} + v_{d1}}{nV_t}\right) = I_S \exp\left(\frac{V_{D1}}{nV_t}\right) \exp\left(\frac{v_{d1}}{nV_t}\right) = I_{D1} \exp\left(\frac{v_{d1}}{nV_t}\right)$$

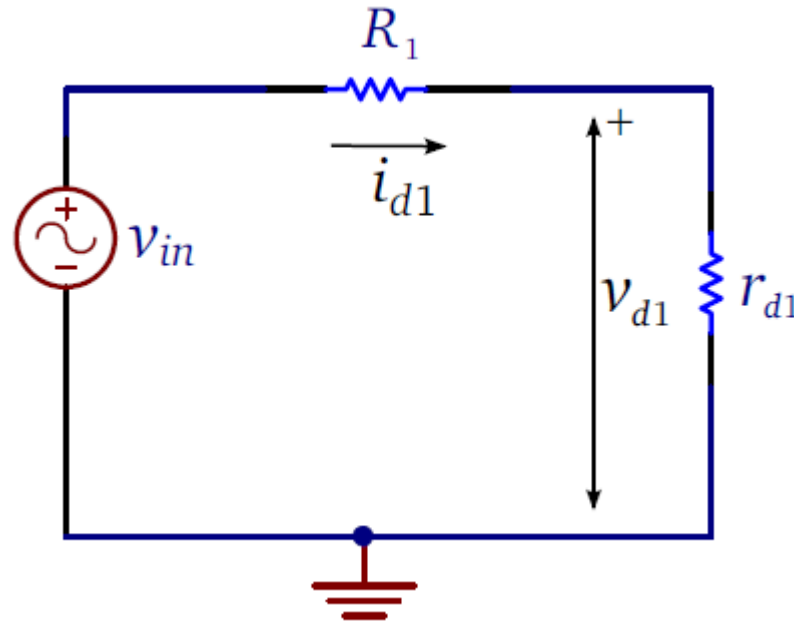
Struja diode može da se približno izračuna za male signale:

$$\begin{aligned} \frac{v_{d1}}{nV_t} \ll 1 \quad i_{D1} &\simeq I_{D1} \left(1 + \frac{v_{d1}}{nV_t}\right) & I_{D1} &= I_Q \\ i_{D1} &= I_Q + \frac{I_Q v_{d1}}{nV_t} = I_Q + \frac{v_{d1}}{r_{d1}} = I_Q + i_{d1} & r_{d1} &= \frac{nV_t}{I_Q} \end{aligned}$$

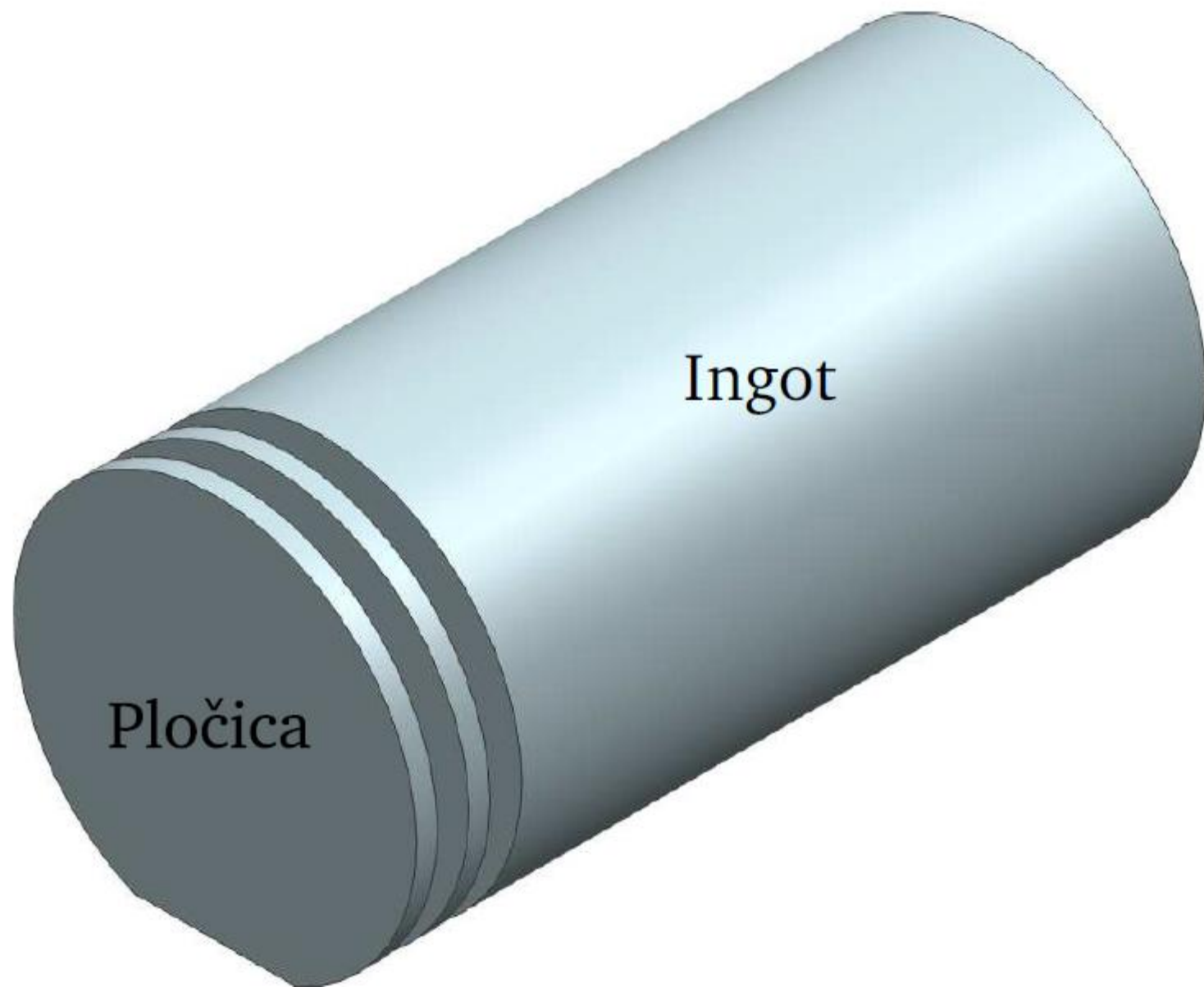
Dinamička otpornost diode se konačno izračunava preko struje u mirnoj radnoj tački I_Q ($n=1$ za napone veće od napona vođenja, i $n=2$ za napone manje od napona vođenja).

Kolo za male signale

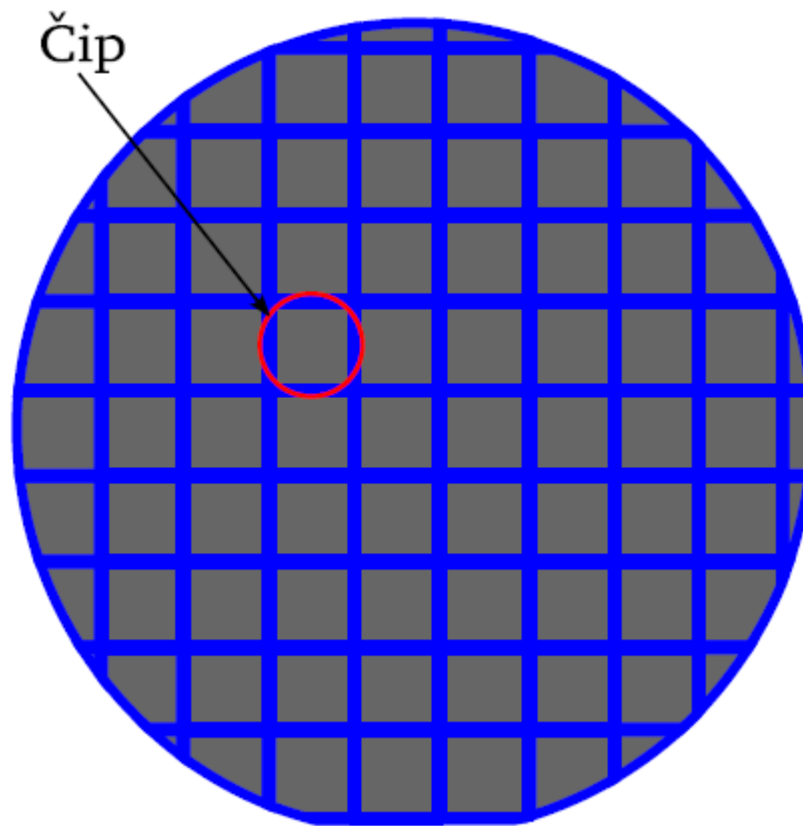
Ekvivalentno kolo za male signale se dobija zamenom diode modelom diode za male signale (dinamičkom otpornošću) i izbacivanjem jednosmernog izvora za napajanje V_F (kratkim spajanjem).



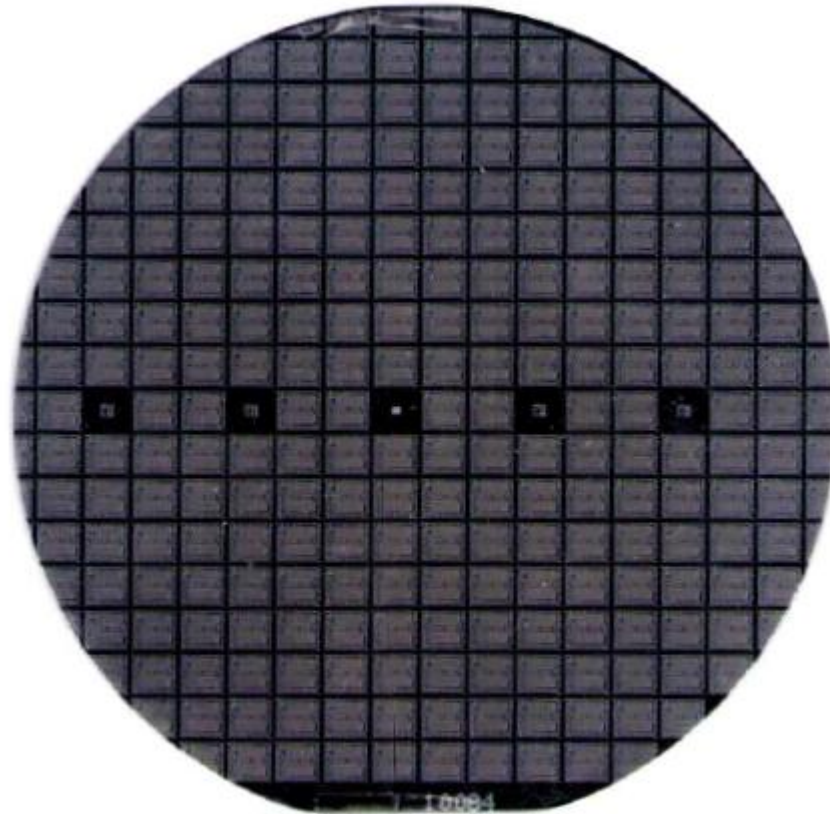
Fabrikacija diode na pločici n-tipa



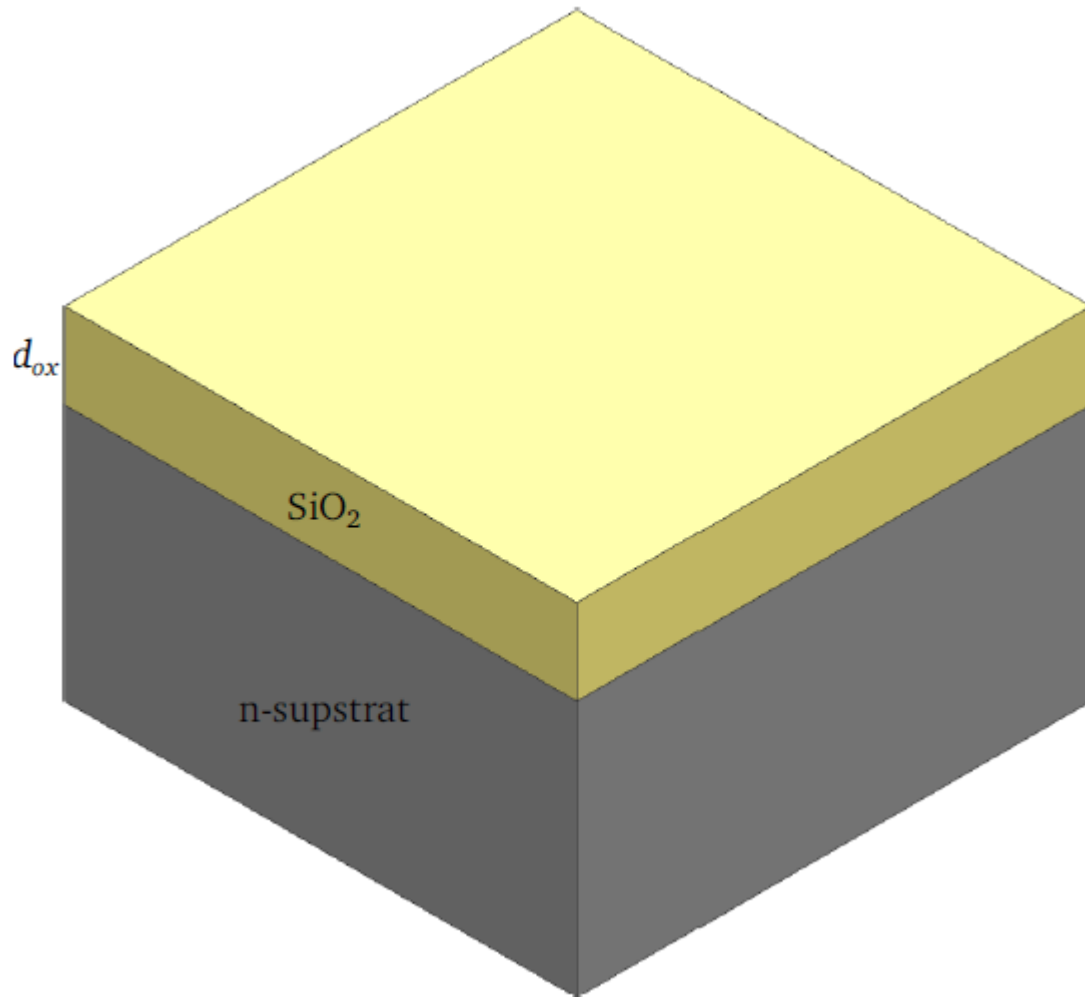
Grafički izgled pločice nakon fabrikacije (jedna dioda = jedan čip)



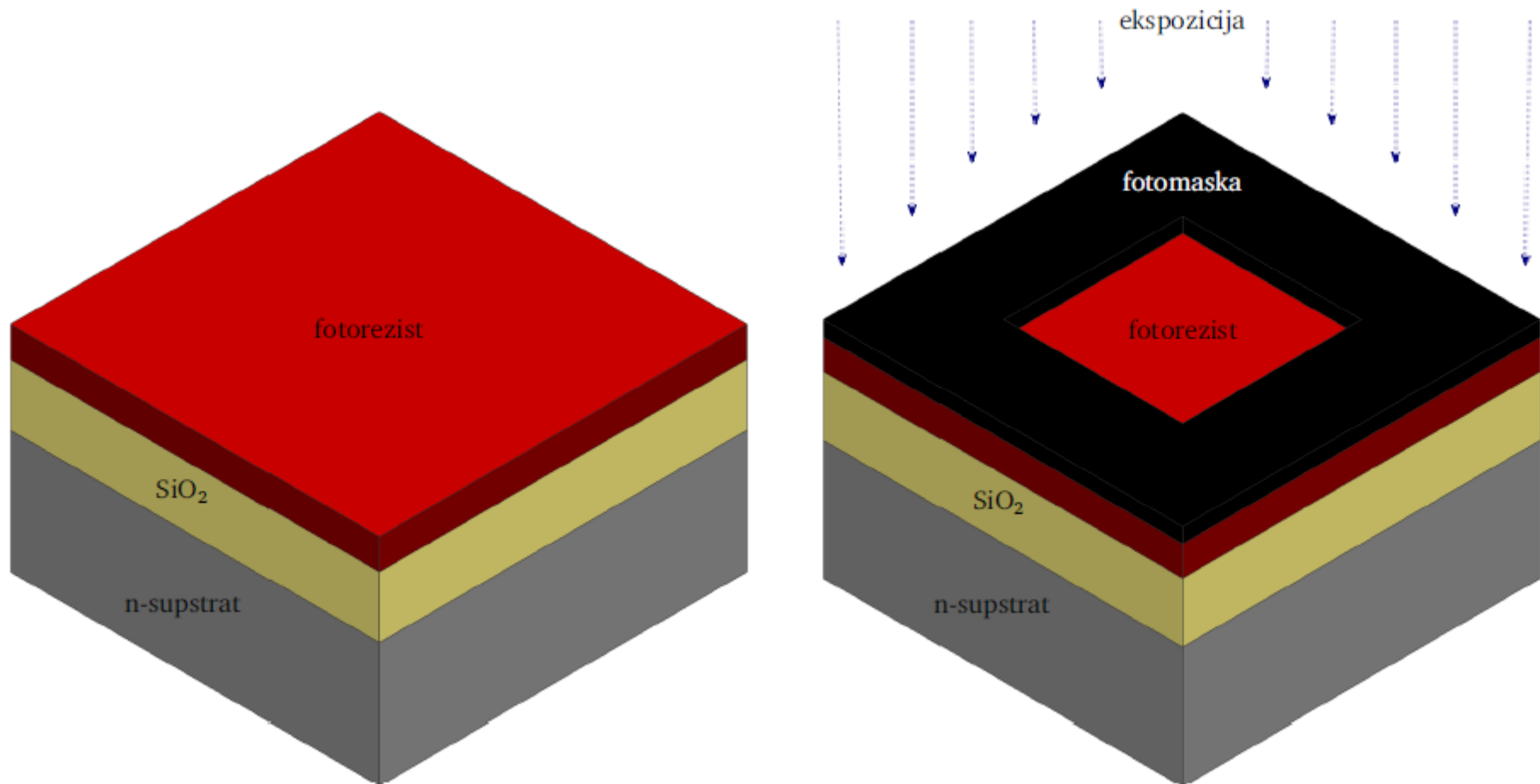
Fizički izgled pločice nakon fabrikacije (jedna dioda = jedan kvadrat)



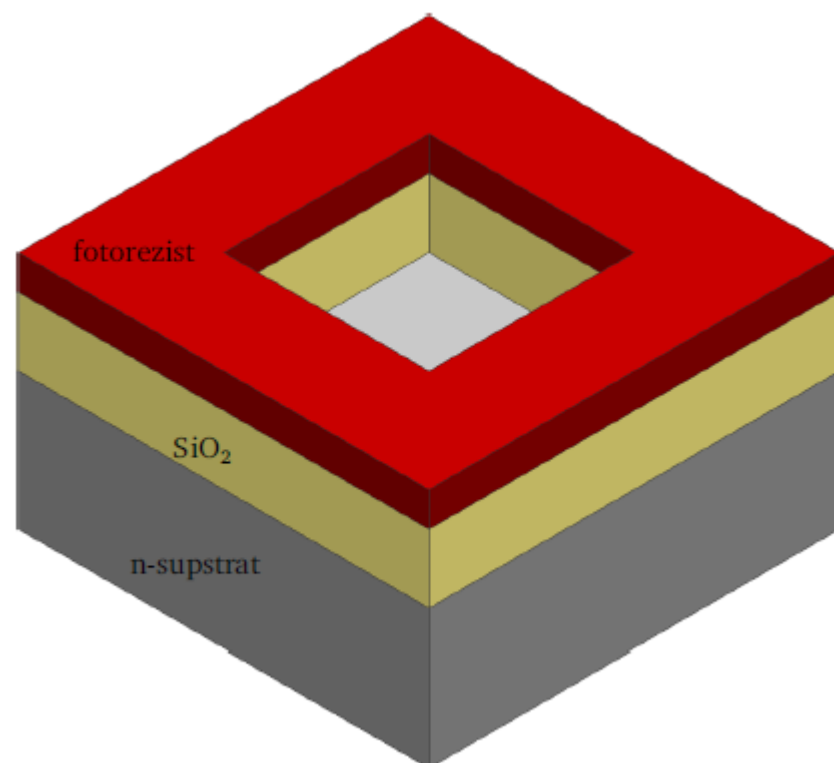
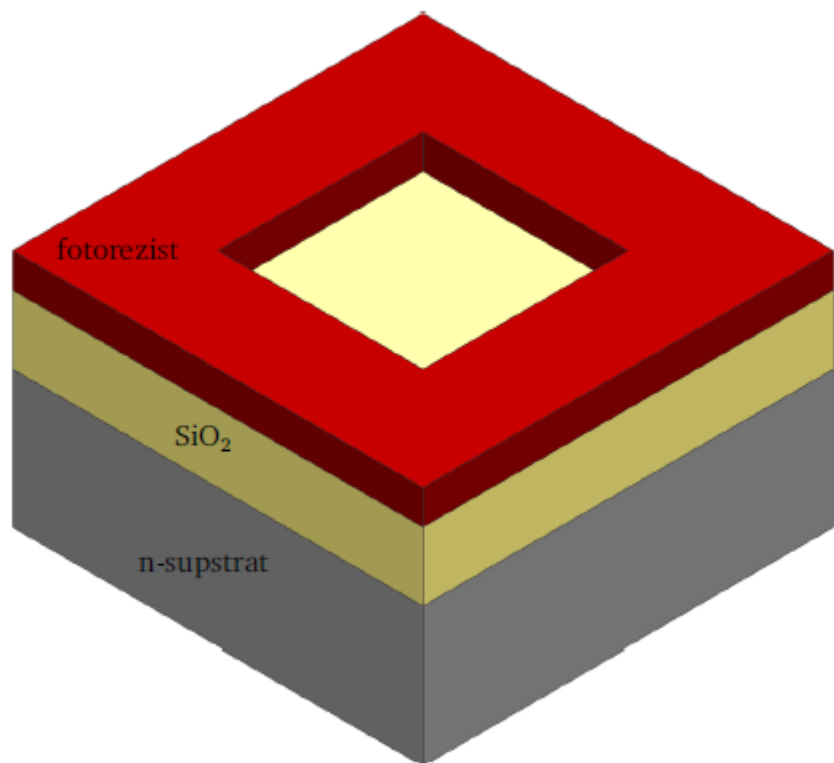
Oksidacija pločice (silicijum dioksid)



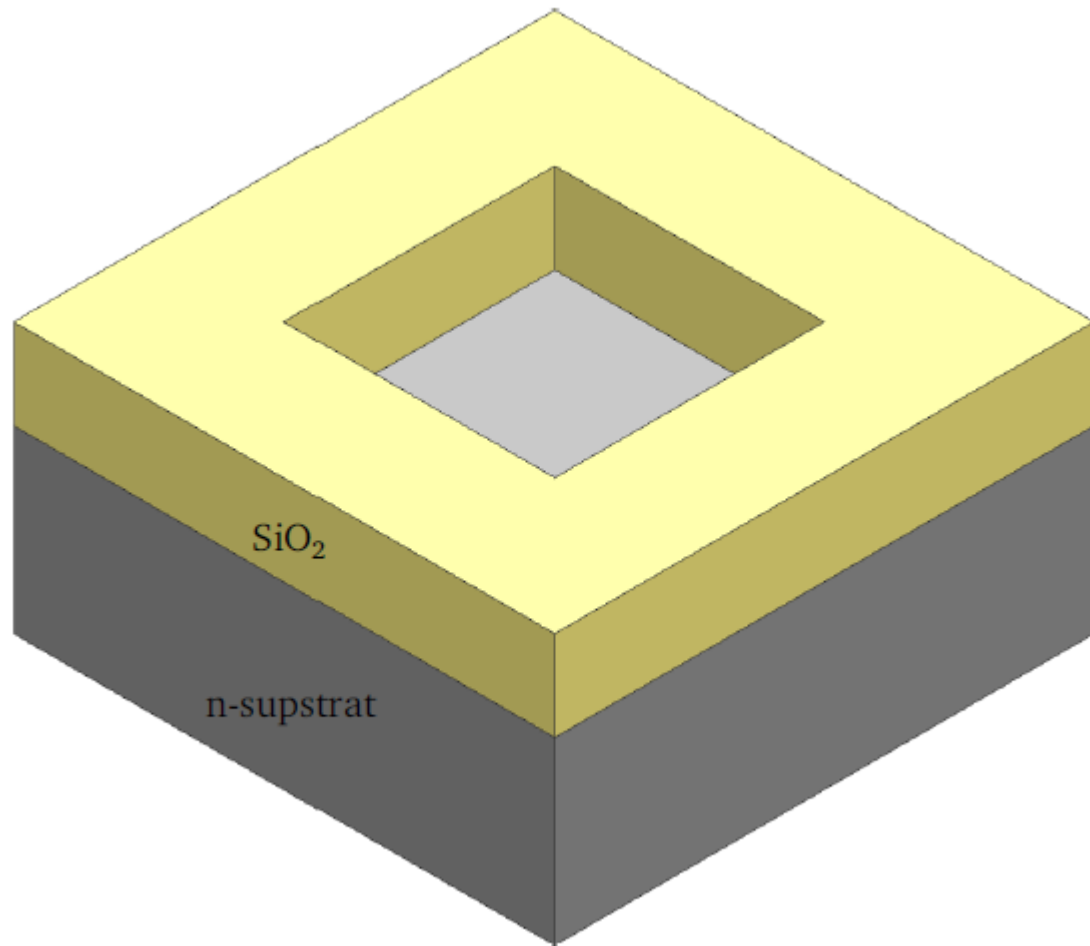
Fotolitografija: Nanošenje fotorezista, maskiranje i ekspozicija



Fotolitografija: Nagrizanje fotorezista i silicijum-dioksida

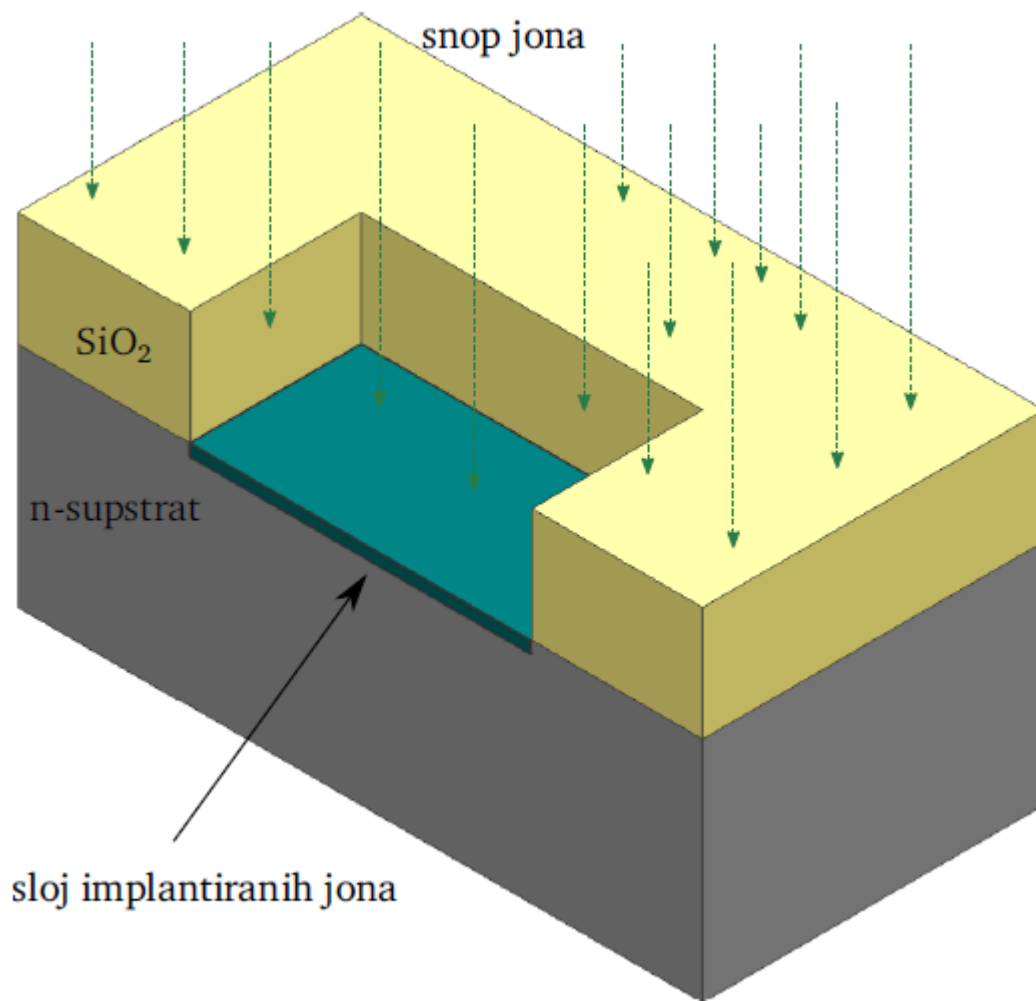


Rezultat fotolitografije

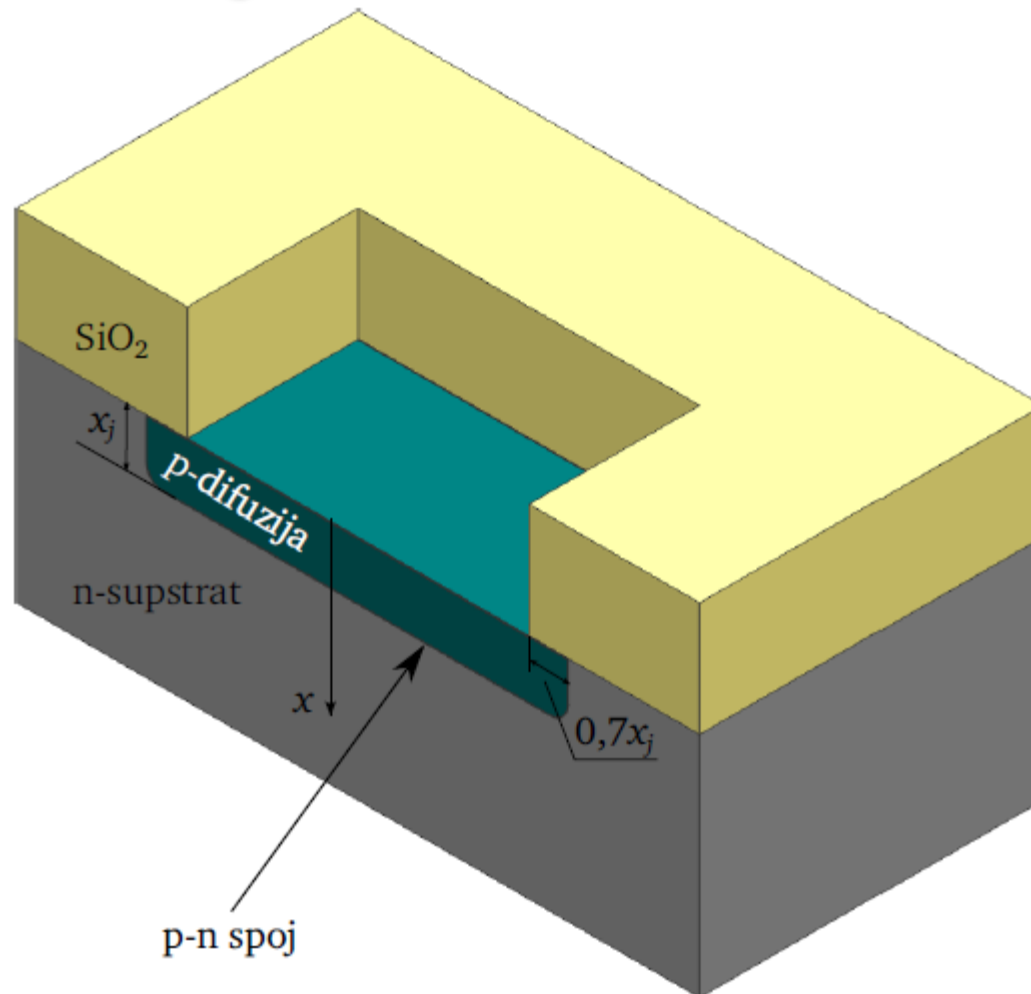


Jonska implantacija

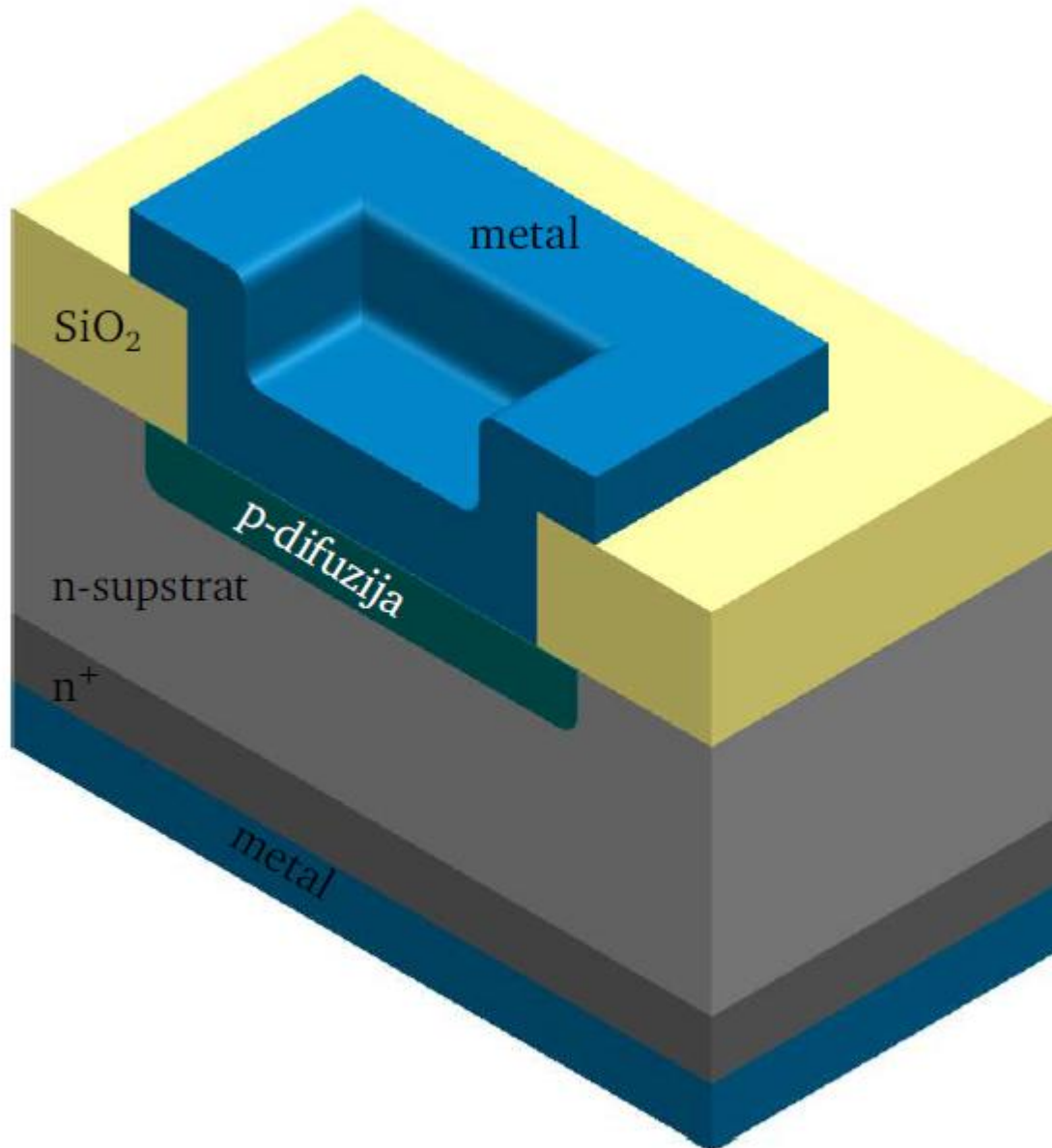
Ubacivanje akceptora u obliku jona



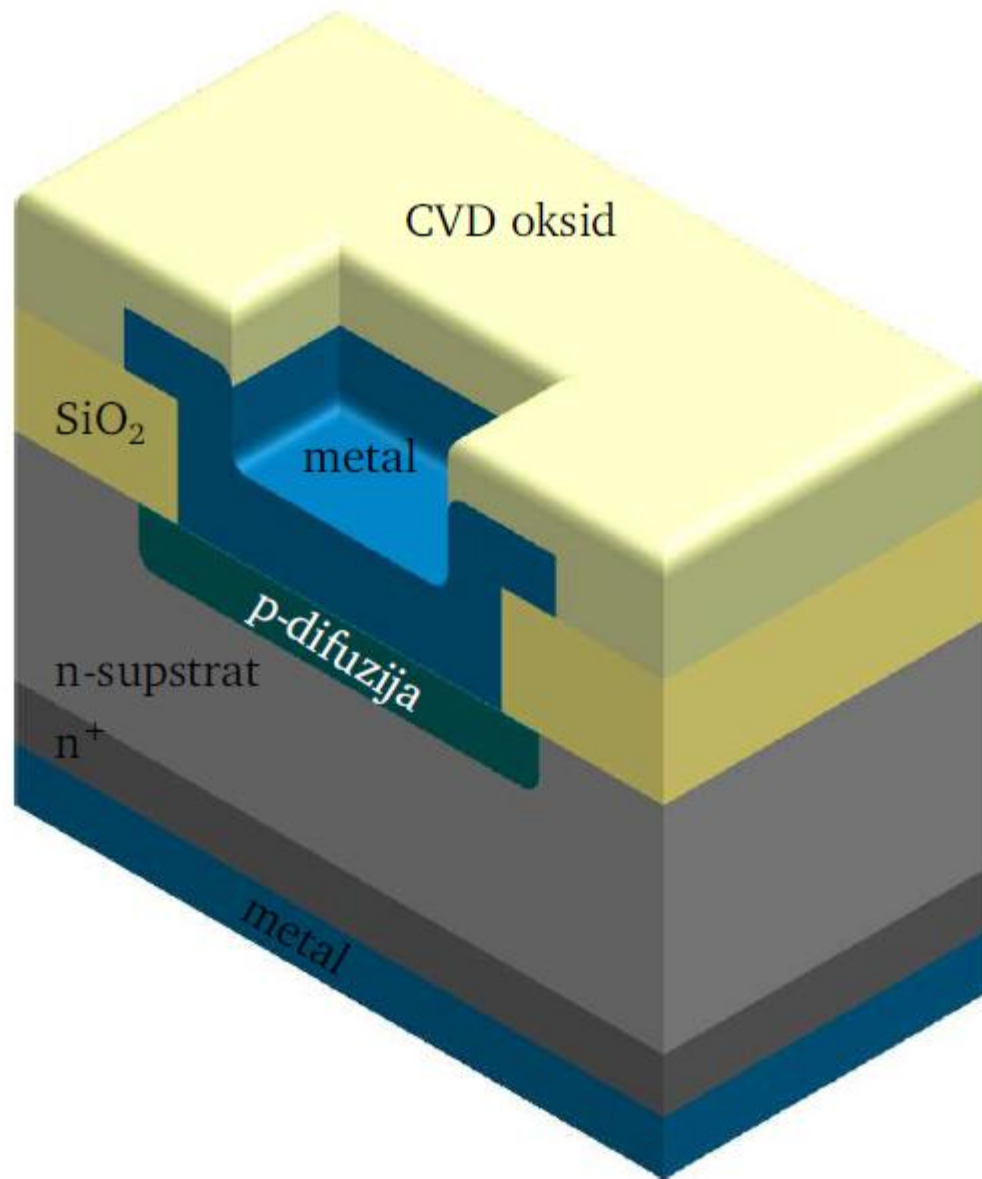
Difuzija za širenje akceptorskih atoma unetih jonskom implantacijom u dubinu supstrata



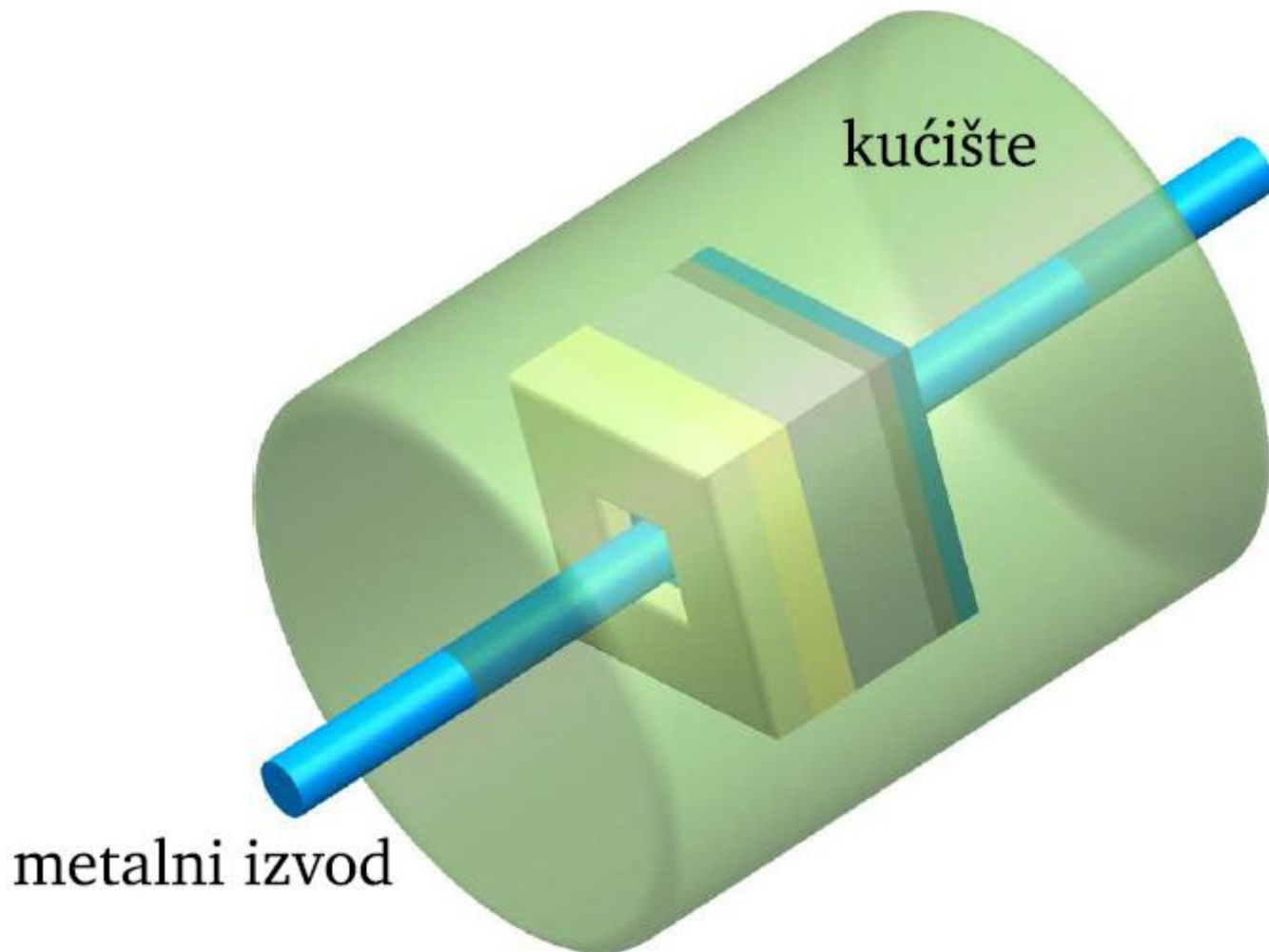
Metalizacija



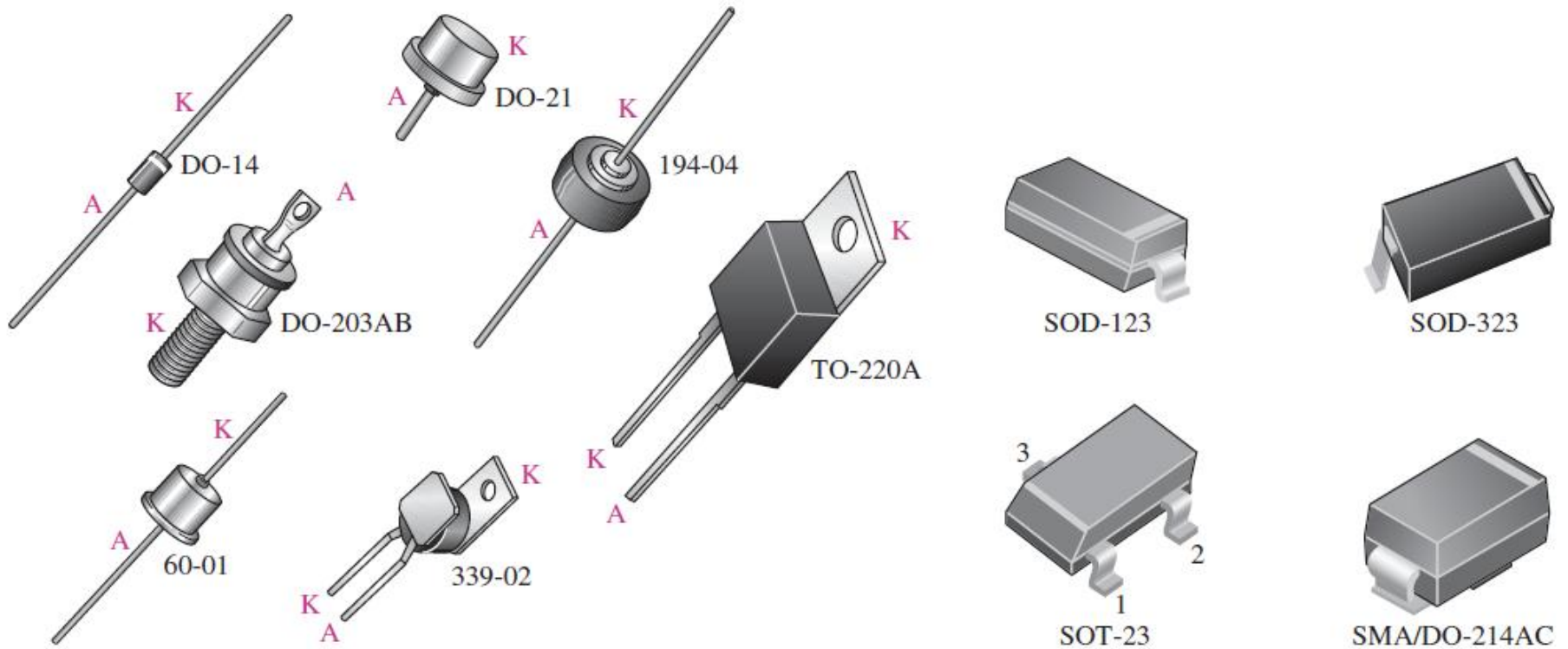
Pasivizacija



Enkapsulacija u kućište sa metalnim izvodima



Izgledi različnih kućišta dioda



Osnove elektronike

III semestar

PN SPOJ